



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

ŘÍZENÍ BUDOVY S VYUŽITÍM PLC VÝROBCE SAIA

BUILDING CONTROL SYSTEM WITH SAIA PLC

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Rejchlík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Václav Kaczmarczyk, Ph.D.

BRNO 2017

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Lukáš Rejchlík

ID: 174386

Ročník: 3

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Řízení budovy s využitím PLC výrobce Saia

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

- 1) Nastudujte a popište základy problematiky řízení budov.
- 2) Navrhněte projekt řízení teploty, regulace vnitřního osvětlení a případně dalších funkcí v zadaném počtu místností v budově.
- 3) Implementujte návrh s využitím PLC výrobce Saia.
- 4) Proveďte nastavení regulačních smyček, měřením ověřte jejich správné nastavení.
- 5) Navrhněte a realizujte vizualizaci (prostřednictvím operátorského panelu či www rozhraní).
- 6) Navržený systém detailně zadokumentujte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Garlík Bohumír: Elektrotechnika a inteligentní budovy(skriptum, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta Stavební)

Termín zadání: 6.2.2017

Termín odevzdání: 29.5.2017

Vedoucí práce: Ing. Václav Kaczmarczyk, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Tato práce se zabývá základy problematiky řízení inteligentních budov za použití programovatelných automatů a zaměřuje se především na vytápění a osvětlení v inteligentních budovách. První část je věnována problematice řízení budov od použití programovatelných automatů po vytápění a osvětlení. Je zde uveden popis protokolu S-Bus, používaného programovatelnými automaty Saia. Následující část obsahuje výpočet tepelných ztrát modelového objektu a návrh jeho tepelného modelu o čtyřech místnostech pomocí knihoven Simscape pro Matlab/Simulink. Pro regulaci teploty v místnostech je vypočten PI regulátor, který je později použit v programu pro řízení teploty a osvětlení. Řízení je realizováno pomocí PLC Saia s vizualizací na dotykovém panelu.

Klíčová slova

Inteligentní budova, model objektu, PLC, Simscape, vytápění

Abstract

This thesis deals with the basics of intelligent building control using programmable logic controllers. The work focuses especially on heating and lighting on buildings. First part is dedicated programmable logic controllers and visualization. There is also a description of the protocol S-Bus used by Saia products. The following section contains calculations the heat loss of buildings and design of thermal model object created by Simscape libraries for Matlab/Simulink. For room temperature control is designed PI regulator. The control of the building is realized by the PLC Saia. Visualization is displayed on the touch panel.

Key words

Intelligent building, object model, PLC, Simscape, heating,

Bibliografická citace

REJCHLÍK, L. *Řízení budovy s využitím PLC výrobce Saia*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 53 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Václav Kaczmarczyk, Ph.D.

.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Řízení budovy s využitím PLC výrobce Saia jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedeného uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne:

.....
Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Václavu Kaczmarczykovi, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce. Dále děkuji také Ing. Janu Glosovi za odbornou konzultaci.

V Brně dne:

Podpis autora

Obsah

1.	Úvod.....	9
1.1	Cíl práce	9
2.	Problematika řízení budov	11
2.1	Programovatelné automaty	11
2.1.1	Definice programovatelného automatu	11
2.2	Monitorovací a ovládací systémy	12
2.2.1	SCADA systémy	13
2.2.2	Saia S Web	13
2.3	Ovládací prvky.....	13
2.3.1	Dálkové ovládání	14
2.3.2	Chytrý telefon nebo tablet.....	14
2.3.3	Vestavný dotykový panel.....	14
2.3.4	Televize	14
2.4	Vytápění	15
2.4.1	Otopná plocha	15
2.4.2	Možnosti řízení otopných soustav	15
2.4.3	Regulace otopných těles	17
2.5	Alternativní zdroje energie	19
2.5.1	Fotovoltaické panely	19
2.5.2	Solární kolektory	19
2.5.3	Tepelná čerpadla	19
2.6	Osvětlení a stínění	21
2.6.1	Stínění denního světla a slunečního záření.....	21
2.7	Sběrnice.....	22
2.7.1	KNX/EIB.....	22
2.7.2	RS 485.....	22
2.8	Saia S-Bus protokol.....	23
2.8.1	Typické aplikace	23
2.8.2	Parametry.....	25
2.8.3	OSI model aplikovaný pro SAIA S-Bus	25
2.8.4	Aplikační vrstva	25
2.8.5	Prezentační vrstva	26
2.8.6	Síťová vrstva.....	26
2.8.7	Linková vrstva	27
2.8.8	Fyzická vrstva	27
3.	Výpočet tepelných ztrát objektu	28
3.1	Stanovení tepelných ztrát místností	29
3.2	Stanovení tepelných ztrát celého objektu	30
4.	MATLAB Simulink/Simscape	32
4.1	Model zdi.....	32

4.2	Model radiátoru.....	33
4.3	Model místnosti	34
4.4	Model objektu	35
5.	Návrh regulátoru	36
5.1	Simulace průběhů teplot v objektu	38
5.1.1	Konstantní výkon dodávaný do otopného tělesa s regulací radiátoru.....	38
5.1.2	Dvoustavové řízení kotle s regulací radiátoru	39
5.1.3	Dvoustavové řízení kotle bez regulace radiátoru	41
6.	Implementace s využitím PLC Saia PCD3	42
6.1	Terminál PCD7.D457VTCF	43
6.2	PCD3.S100.....	44
6.3	Vývojové prostředí PG5	44
6.4	Program	45
6.4.1	Vytápění objektu	46
6.4.2	Ohřev vody	46
6.4.3	Osvětlení.....	46
6.4.4	Režim dovolené	46
7.	Závěr	48
	Seznam obrázků.....	49
	Seznam tabulek.....	49
	Literatura.....	50
	Seznam příloh.....	52

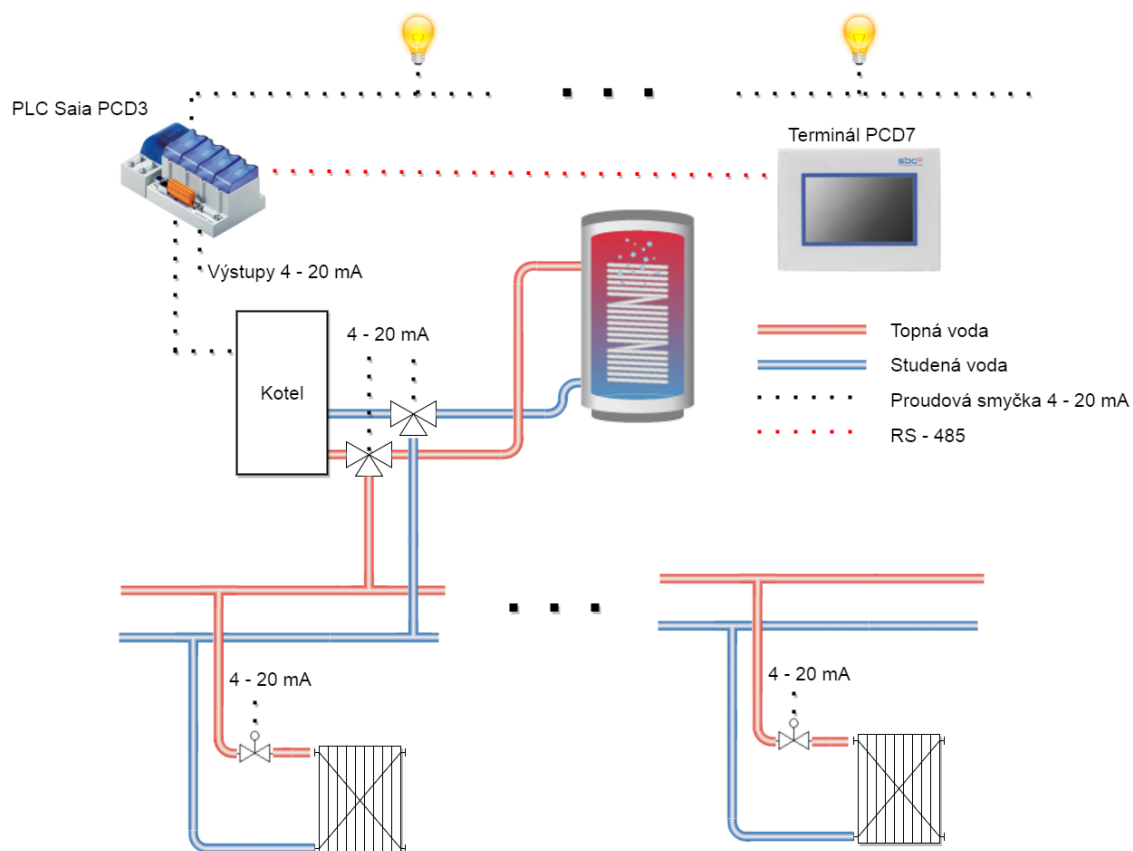
1. ÚVOD

Nynější doba nás vede k automatizaci mnoha procesů za účelem zvýšení kvality činnosti a snížení nákladů s touto činností souvisejících. S automatizací procesů úzce souvisí PLC automaty, které se nejdříve objevily v průmyslu a z této sekce začaly pronikat do řízení budov. Právě v řízení budov se objevuje mnoho aplikací, ke kterým jsou PLC automaty vhodné. Mohou řídit techniku v budovách, energetiku, komunikaci, zabezpečení (ochrana proti vniknutí, ochrana proti požáru) a další. Pokud se ohlédneme do minulosti, zejména sedmdesátých a osmdesátých let minulého století, kdy PLC začínaly zaplňovat trh, byla jejich využitelnost v domácnostech velmi malá. S vývojem elektroniky a komunikačních technologií se začal zvětšovat i prostor pro využití programovatelných automatů. Elektrospotřebiče se již vyrábí s lepším interním řízením a komunikačním rozhraním, jež je umožňují ovládat z jiného zařízení. Ovládání elektrospotřebičů úzce souvisí s elektroenergetikou a úsporami energie. Pomocí I/O modulů a senzorů můžeme tedy řídit vytápění v daném prostoru. Pokud tento prostor rozdělíme na sektory (místnosti), v nichž se nachází radiátory, které mají elektronicky řízené hlavice, můžeme je nezávisle na sobě ovládat a regulovat tak teplotu pro různé místnosti samostatně. Jako další příklad využití se může uvést ovládání světelných zdrojů, žaluzií, monitorování a kontrola objektu v případě nepřítomnosti obyvatel. Pro ovládání programů, určených k vykonání dané činnosti, se často používají terminály s LCD displeji, jež nabízejí grafické prostředí pro komunikaci s uživatelem. Terminály nejsou ovšem nutností. Grafické rozhraní může být i vytvořeno formou www stránek, aplikací pro tablety či chytré telefony nebo různé kombinace předchozích možností.

1.1 Cíl práce

Cílem této práce je seznámení se se základy problematiky řízení budov a pomocí získaných znalostí vytvoření projektu řízení objektu. Mezi hlavní prvky tohoto řízení patří řízení teploty a regulace osvětlení v daném počtu místností, popřípadě přidání dalších funkcí. Projekt je realizován pomocí programovatelného automatu řady PCD3 a dotykového terminálu řady PCD7 společnosti SAIA. První část práce se zabývá již zmíněnou problematikou.

Ve druhé části je řešena vlastní realizace řízení pomocí programovatelného automatu s využitím grafického jazyka logických schémat (Block diagram). K návrhu otopné soustavy ke zvolenému objektu (viz příloha 1) jsou uvedeny výpočty tepelných ztrát. Pro návrh regulátoru teploty je vhodné vytvořit model objektu, jehož chování se blíží skutečnosti. Ovládání programu bude zprostředkováno přes vizualizaci vytvořenou Web Editorem prostředí PG5 a zobrazenou na dotykovém panelu.



Obrázek 1 - Principiální schéma řízeného systému

2. PROBLEMATIKA ŘÍZENÍ BUDOV

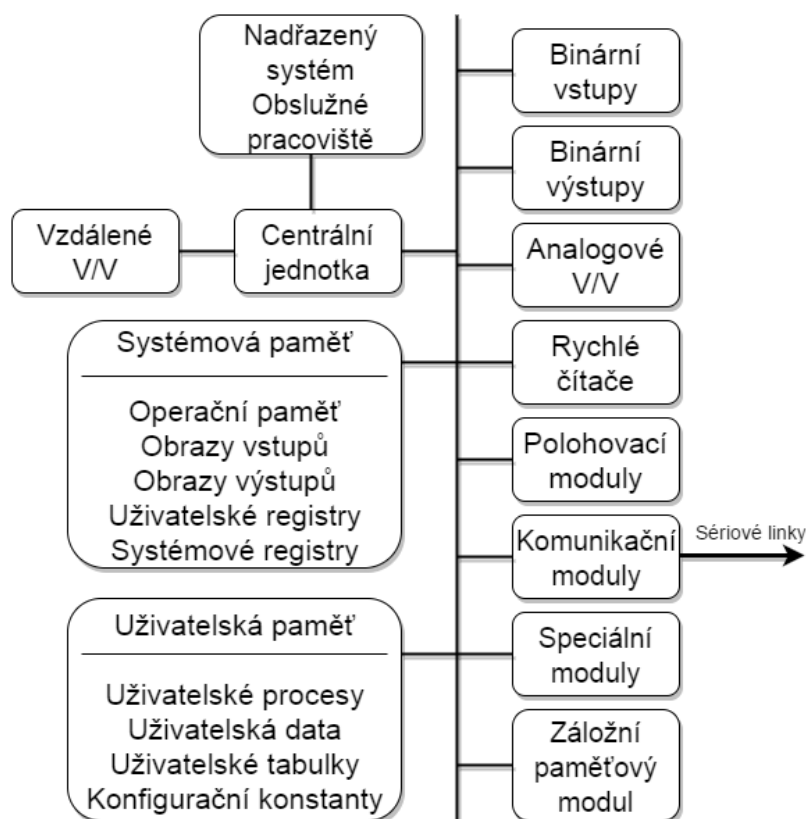
Systémy inteligentních budov tvoří samostatné autonomní celky, systémy ochrany proti požáru, zabezpečení, řízení (vytápění, klimatizace, osvětlení, energetika), popřípadě i systémy správy budov. Protože každý systém má většinou svůj vlastní komunikační protokol daný výrobcem, může být obtížné zajistit komunikaci mezi jednotlivými systémy. Tento problém se řeší buď použitím diskrétních signálů přenášných mezi vstupním a výstupním zařízením systému, nebo pomocí protokolů. V případě rozdílných protokolů je nutno je nejdříve přeložit pomocí speciálních jednotek. Volbou vhodných zařízení lze využít univerzální protokoly, standarty. Propojení systému vytváří inteligentní vnitřní prostředí budovy, které zlepšuje kontrolu a přehled nad objektem a zároveň snižuje náklady na správu budovy. Při vytváření řízení inteligentních budov se vychází především z trvalých nároků a potřeb lidí v nich žijících nebo pracujících. S příchodem nové technologie se vymění pouze koncové zařízení, popřípadě se upraví část programu spojená s jeho řízením. To ovšem nemá vliv na systém jako celek.

2.1 Programovatelné automaty

Řízení inteligentních budov ve velké míře zastupují programovatelné automaty (Programmable Logic Controlrs) PLC. Od 70. let začali programovatelné automaty nahrazovat pevnou reléovou logiku a staly se tak významným řídicím prostředkem pro řízení technologických procesů, výrobních linek a strojů. Po prosazení v průmyslu se začaly objevovat a i v automatizaci budov. Dříve jejich hlavní nevýhoda spočívala v chybějícím programátorském komfortu, kde je předčili řídicí počítače a minipočítače. Naproti tomu lze zařadit mnoho výhod, mezi které patří velká spolehlivost, snazší rozdělení řídicí struktury na samostatné celky s jasně definovatelnými rozhraními, odolnost. Díky tomu je uvedení do chodu rychlejší, údržba snazší, jednodušší ladění programů, lze optimalizovat cenu HW vzhledem k možnosti modulární výstavby a tím i celkové náklady na realizaci projektu [1].

2.1.1 Definice programovatelného automatu

Programovatelný automat je uživatelsky programovatelný řídicí systém přizpůsobený pro řízení průmyslových a technologických procesů nebo strojů. Skládá se z centrální procesorové jednotky, systémové paměti, uživatelské paměti, souboru vstupních a výstupních jednotek pro připojení řízeného systému a souboru komunikačních jednotek pro komunikaci se souřadnými i nadřazenými řídicími systémy. Tyto jednotky jsou navzájem propojeny systémovou sběrnici. Základní schéma:



Obrázek 2 - Blokové schéma typického PA [2]

Řídicí algoritmy jsou realizovány programem uloženým v uživatelské paměti. Posloupnost instrukcí v programu je vykonávána cyklicky. Program může být napsán v pěti různých jazycích definovaných IEC 1131-3 (ČSN EN 61131-3):

- Jazyk reléových schémat (Ladder Diagram – LAD)
- Jazyk logických schémat (Function Block Diagram – FBD)
- Sekvenční diagram (GRAFTEC) – Sequential Function Chart
- Mnemo kód (strojový kód) – Instruction list
- Strukturovaný text

Konstrukčně se programovatelné automaty dělí na dva základní typy, a to kompaktní a modulární. Kompaktní automaty obsahují CPU, komunikační rozhraní, vstupy a výstupy v jednom pouzdře. Modulární automaty se z jednotlivých modulů skládají a dají se tak rozšiřovat o potřebné funkce [2].

2.2 Monitorovací a ovládací systémy

K monitorování a kontrole probíhajícího řízeného procesu se využívá vizualizace. Ta je zobrazována na kontrolních panelech a obrazovkách v řídicích místnostech v rámci velkých budov, nebo v jedné zvolené místnosti v případě rodinných domů. Vizualizace může zobrazovat nejen aktuální informace daného procesu, ale také dlouhodobě snímaná data, informace o stavu akčních členů a zařízení. Její pomocí lze také technologický proces do jisté míry ovládat.

Vizualizace může sestávat z jedné hlavní stránky, na níž jsou umístěny jednoduché ovládací prvky (tlačítka, přepínače, simulace LED indikace, různé typy měřidel, grafy) nebo z propracovaného prostředí obsahujícího grafické znázornění řízených prvků a jejich stavu, digitálních ovládacích panelů, kontroly chybových hlášení.

2.2.1 SCADA systémy

Pro realizaci vizualizace se často používají systémy SCADA/HMI. SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) poskytuje řízení a sběr dat. HMI (Human-Machine Interface) je zkratka doplňující informaci, že se jedná o rozhraní mezi strojem a člověkem. Nejedná se o plnohodnotný řídicí systém, ale o nástroj zobrazující informace o stavu řízených objektů a jejich ovládání na úrovni dispečera. Komunikace s řídicími prvky musí být zajištěna pomocí driveru.

SCADA popisuje informace:

- provozně-technické – informace o stavu zařízení a akčních prvků,
- poruchové – chybová hlášení,
- statistické – provozní hodiny pohonů, četnost poruchových stavů,
- bilanční – informace o energetických a materiálových tocích,
- logistické – stavy skladů, zásobníků sypkých a kapalných látek [3].

2.2.2 Saia S Web

Na rozdíl od systémů SCADA jsou funkce HMI (webové stránky) uloženy v jednotlivých automatech. Při změnách se tedy program upraví jen v konkrétním automatu, což výrazně snižuje náklady na programování a údržbu. Pro zobrazení vizualizačních stránek a procesních dat z automatu je dostačující mít v dotykovém panelu nebo počítači nainstalovaný standardní webový prohlížeč. Pokud je potřeba data zobrazovat na více místech v objektu, pro připojení nového dotykového panelu není nutné zasahovat do programu.

Možnosti přístupu k automatu:

- RS-232,
- RS-485,
- USB,
- Ethernet TCP/IP,
- Profibus.

2.3 Ovládací prvky

K ovládání akčních členů a funkcí nabízených systémem inteligentní budovy je možné použít různé typy elektronických zařízení od klasických vypínačů po televize. Volba ovládacího prvku závisí na náročnosti operací jím řízených. Možným přenastavením ovládacích prvků, popřípadě změnou vizualizace, lze získat flexibilitu a možnost rozšiřování způsobů ovládání i do budoucna.

2.3.1 Dálkové ovládání

Pomocí dálkových ovladačů můžeme řídit základní funkce v objektu jako je ovládání žaluzií, regulace osvětlení ve vnitřních i vnějších prostorech, rozkládání markýz, otevírání garážových vrat, či úprava teploty v objektu. Lze využít klasické tlačítkové ovládání nebo ovládání s dotykovým displejem, které má více funkcí, povely je možné kombinovat či měnit nebo přidávat ovládané prvky [4].

2.3.2 Chytrý telefon nebo tablet

Pro tento typ zařízení je většinou vyvinuta aplikace, pomocí které se může ovládat celý objekt. Aplikace může rozlišovat různé úrovně přístupu a podle nich uzamykat dané funkce. K řízení objektu můžeme využít soukromou domácí síť nebo se připojit na kteroukoliv veřejnou síť a zkontrolovat budovu, i když v ní nejsme přítomni [4].

2.3.3 Vestavný dotykový panel

Panely nabízející stejné možnosti jako tablet jsou zabudovány ve zdech a jejich umístění závisí na potřebách uživatele. Může se jednat o pokoje hotelů, přednáškové sály, kotelny, řídicí místnosti, atd...

2.3.4 Televize

Pomocí aplikace v chytré televizi můžeme ovládat elektroinstalaci obdobně jako u předchozího například ovládání kávovaru, zavlažování, zakrytí bazénu. Pokud je v objektu server, můžeme přehrávat data v něm uložená [4].

2.4 Vytápění

Jedním ze základních požadavků pro každou budovu, ať už inteligentní nebo nikoliv, je možnost vytápění jejích prostor. Možností, jak budovu vytápět, je na trhu spousta a díky tomu lze vyhovět mnoha různým požadavkům zákazníků, kteří mají různé názory na to, jak vypadá „tepelná pohoda“.

S udržením požadované teploty v objektu souvisí i materiál, ze kterého je objekt vybudován. Různé stavební materiály mají různé akumulční schopnosti. Klasické zděné domy mají vcelku dobré tepelné akumulční schopnosti kladně se projevující hlavně v chladnějších obdobích. Stěny akumulují teplo a po nabití si ho dokáží dlouho udržet a vydávat ho zpět, což zlepšuje tepelnou pohodu obyvatel. Tento efekt se dá vylepšit použitím vnější izolace, která brání vyzařování tepla mimo dům. Naproti tomu dřevostavby mají v tomto směru horší vlastnosti.

Od tepelné akumulční a izolační vlastností objektů se odvíjí volba použití vhodných systémů pro vytápění budov. Můžeme použít kotle a radiátory, kamna, krby, otopné plochy, teplovzdušné vytápění, tepelná čerpadla, podlahové vytápění a akumulční prvky. Různé typy akumulčních prvků se zavádějí právě do dřevostaveb, kde částečně plní funkci zdiva.

Způsob řízení vytápění budov tedy zcela logicky vyplývá od vlastností budov a topných systémů v nich instalovaných. Použití více systémů pro vytápění v jedné budově je zcela běžné. Jejich primární účely bývají různé, ale díky inteligentnímu řízení budovy je lze ovládat tak, aby navzájem doplňovaly své nedostatky, pokud je to technicky možné [5].

2.4.1 Otopná plocha

Otopné plochy jsou tepelné výměníky, které mají za úkol předat do vytápěného prostoru dané množství tepla z otopného tělesa tak, aby byla dosažena požadovaná teplota. Dosažení požadované teploty je základním aspektem k udržení tepelné pohody v prostoru a je ovlivněno povrchovou teplotou okolních zdí, teplotním profilem a prouděním vzduchu v daném prostoru. Otopné plochy se třídí na otopná tělesa (radiátory) nebo na integrované otopné plochy, které zabírají větší plochu a bývají součástí podlah, stropů, či stěn.

Typy otopných těles:

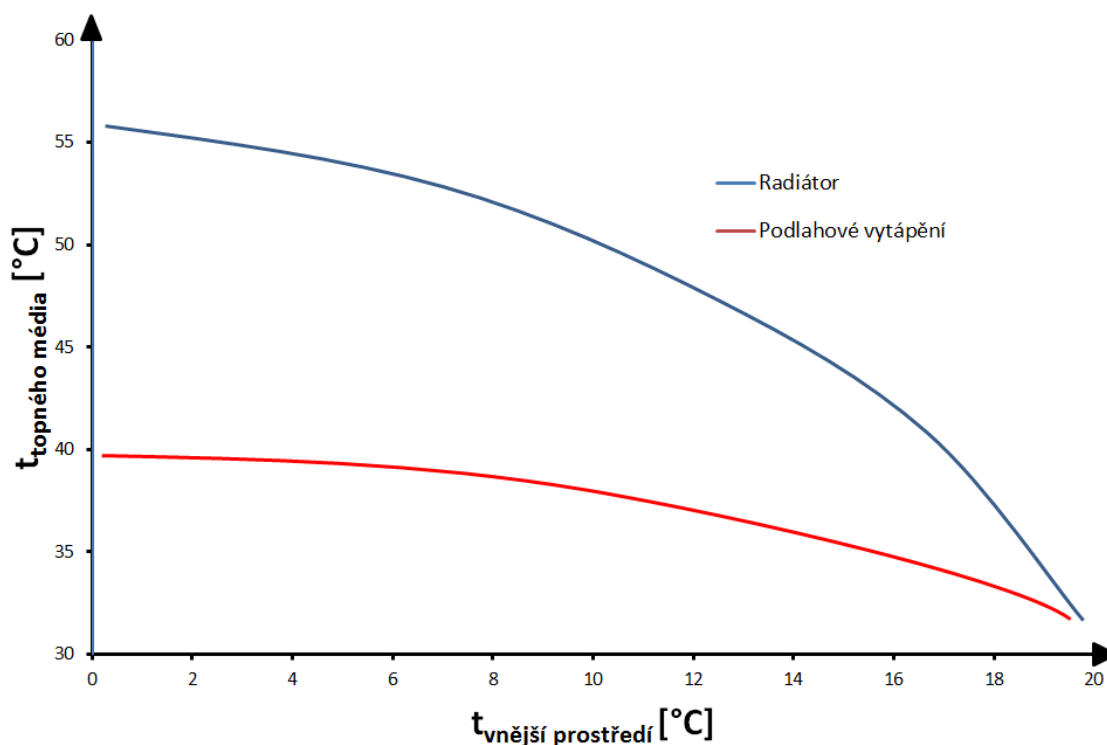
- článková otopná tělesa,
- desková otopná tělesa,
- trubková otopná tělesa,
- konvertory,
- integrované otopné plochy [6].

2.4.2 Možnosti řízení otopných soustav

Řízení otopných soustav lze rozdělit na několik kategorií. Tyto kategorie jsou definovány požadavky na vytápění daného objektu, typem použité otopné soustavy a

hlavně možnostmi její regulace. Při realizaci nových budov nebo rekonstrukcích starých objektů je kladen velký důraz na spotřeby energií. Od toho se odvíjí i návrhy otopných soustav, kde je nutné zajistit vhodnou regulaci objektu rozděleného na dílčí části. Při řízení starších budov se však tato možnost nenabízí, což vede k méně ekonomickým možnostem řízení.

- **Individuální zónová regulace** – Objekt je rozdělen na jednotlivé regulované zóny. V každé z určených zón je umístěn snímač teploty, podle kterého se dále reguluje teplota v dané zóně. Každá zóna tedy představuje samostatnou regulační smyčku. Jako hlavní výhodu tohoto rozdělení lze jednoznačně uvést možnost individuálního nastavení teplot pro jednotlivé zóny podle potřeby. Požadavky na spotřebu energie jednotlivých zón se mohou lišit, proto je potřeba zajistit dostatečný výkon zdroje. Pro regulaci se používají termostatické hlavice nebo termostatické ventily připojené k daným otopným tělesům přímo v jednotlivých zónách [7].
- **Regulace podle referenční teploty** – Snímač teploty vzduchu je umístěn do jedné referenční místnosti. Teplota je pak dále jako řízená veličina předávána většinou PID regulátoru nebo dvoupolohovému regulátoru se zpětnou vazbou. Snímač nesmí být ovlivňován místními zdroji tepla. Podle referenční místnosti jsou ovládány ostatní prostory v objektu. Od regulační odchylky v referenční místnosti se odvíjí teplota přiváděného otopného média společně i pro ostatní vytápěné prostory. Tato regulace má nevýhodu spočívající v přetápění nebo nedostatečném vytápění některých místností. Regulace je vhodná spíše pro systémy s malým dopravním zpožděním a malou setrvačností, u velkých objektů se více projevují nedostatky regulace [7].
- **Regulace podle teploty otopného média** – Umístění snímače je realizováno přímo v přívodním potrubí otopného média do zdroje tepla. Zdroj tepla obsahuje regulátor, pomocí kterého je určován potřebný výkon.
- **Regulace podle venkovní teploty** – Též nazývaná jako ekvitermní regulace. Při nižší venkovní teplotě je nutné zajistit vyšší teplotu topné vody, aby došlo k vyrovnání dodávaného tepla a tepelných ztrát místnosti za účelem udržení konstantní teploty v místnosti. Snímač teploty je umístěn na vnější fasádě objektu mimo dosah slunečního záření a předává informaci regulátoru. Reakce regulátoru je dána zadanou ekvitermní (otopnou) křivkou. Průběh této křivky se získává dlouhodobým měřením v objektu a závisí na vlastnostech budovy a topného systému. Ekvitermní křivky se získávají pro jednotlivé vytápěné místnosti.



Obrázek 3 - Typický tvar ekvitermní křivky

Charakteristika závisí na střední teplotě otopných těles, tedy na teplotním spádu, na druhu otopné plochy (otopná tělesa, integrované otopné plochy, fancoily) a na tepelných vlastnostech objektu.

Reguluje se pouze teplota přívodní otopné vody v závislosti na venkovní teplotě vzduchu. Teplota zpětné vody se mění v závislosti na podmínkách, za kterých pracuje celá soustava. Ve vytápěných prostorech je potřeba užít místní regulaci pomocí termostatických ventilů [7].

- **Prediktivní řízení** – Možnost prediktivního řízení budov byla navržena v minulém století, kde se však jednalo pouze o teoretickou otázku z důvodu malého výkonu výpočetních zařízení. V posledních deseti letech je o toto řízení stále větší zájem a začíná se uplatňovat. Hlavní myšlenkou je řešení úlohy v daném časovém intervalu s využitím co nejvíce zdrojů informací k optimalizaci řízení a nákladů. Při vytápění budov se jedná o udržení požadované vnitřní teploty s minimální spotřebovanou energií. K tomu je nutné znát co nejvíce faktorů ovlivňujících chování budovy. Mezi takové faktory patří hlavně povětrnostní podmínky, konkrétně venkovní teplota, sluneční záření, rychlost větru. Prediktivní řízení tedy do určité míry zahrnuje předpovědi počasí. Poté mohou být pro naplánované procesy využity levnější tarify elektřiny.

2.4.3 Regulace otopných těles

Při návrhu otopných soustav se u výpočtů tepelného výkonu berou v úvahu nejnižší možné venkovní teploty v dané oblasti tak, aby bylo možné zajistit dostatek tepla pro dané části budov. To znamená, že ve velké části roku plně nevyužíváme

potenciál navržené otopné soustavy. Soustava je předimenzovaná. Proto se hledají nejvhodnější řešení pro regulaci otopných těles, aby spotřeba energie nutná pro vytápění byla co nejnižší při daných podmínkách. Pro regulaci otopných těles můžeme použít termostatické hlavice či ventily.

Pokud by nebyly použity regulační prvky, otopná soustava by do vytápěného prostoru předávala po celou dobu provozu více tepla, než je nutné. To vede k přetápění prostoru a nutnosti větrání a tím předání nadbytečného tepla vnějšímu prostředí.

- **Regulační kohouty** – Dnes už téměř nevyužívaná možnost regulace průtoku média. Jedná se o nejjednodušší regulační prvek skládající se ze škrtkícího orgánu a kohoutu, kterým se škrtkící orgán přivírá. Regulační kohouty nereagují na teplotu v prostoru, proto jsou otopné soustavy s tímto typem regulace pro vytápění z ekonomického hlediska nevhodné. Pootevřením kohoutu začne otopné médium proudit do otopné plochy a s tím spojené předávání tepla do prostoru. Se zvyšující se teplotou se však škrtkící orgán nepřivře, což vede k přetápění prostoru. Regulační kohouty tedy musí uživatel sám otevírat a přivírat k dosažení požadované teploty v prostoru a regulace průtoku média je tak závislá na přítomnosti uživatele [6].
- **Termostatické ventily** – Jak již bylo naznačeno, ovládání průtoku média v otopných tělesech má zásadní význam. O nastavení požadovaného průtoku v závislosti na teplotě se nejčastěji používají termostatické ventily většinou ve spojení s termostatickými hlaviciemi. Termostatické ventily jsou buď instalovány přímo v otopných tělesech, nebo se montují na přívodní potrubí. Skládají se z těla ventilu a vyměnitelné vložky bez nutnosti vypouštění soustavy. Vložka obsahující kuželku se do těla ventilu zašroubuje a právě její pomocí se reguluje průtok otopného média. Objem protékajícího otopného média udává zdvih kuželky regulovaný termostatickou hlavici. Pomocí uzavíracích ventilů můžeme celý objekt rozdělit na sektory a v případě potřeby vytápět pouze některá patra budovy nebo jejich části podle potřeby. Na to, které části budovy se mají vytápět a které ne, může mít i vliv zabezpečovací systém. Ten může mít pomocí přístupových karet přehled o pochybu a rozmístění osob v budově. Zde se poprvé objevuje výhoda propojení dvou různých řídicích systémů [6].
- **Termostatické hlavice** – Tyto hlavice se nasazují na termostatický ventil, kterým se reguluje průtok média předávajícího teplotu skrze otopné těleso do prostoru. Změnou teploty v okolí hlavice dilatuje látka v ní umístěná (pevná látka, kapalina neb plyn) a se zvyšující se teplotou se látka roztahuje. Dilatace teplotně citlivé látky působí na snímač v hlavici. Podle toho hlavice přivírá či otevírá ventil, na který je nasazena a reguluje průtok média. Hlavice by měla být umístěna tam, kde je dostatečné proudění vzduchu a průměrná teplota v místnosti. To nelze vždy zajistit, proto lze použít typ hlavice s možností vzdáleného umístění od radiátoru, na jehož ventilu se nachází pouze řídicí snímač. Na hlavicích jsou vyznačeny stupnice, kterým odpovídají dané teploty. Od chvíle nastavení určité hodnoty se průtok média otopným tělesem reguluje

nezávisle na přítomnosti uživatele. Díky principu činnosti hlavice se započítávají do regulace i okolní teplotní vlivy jako je sluneční svit.

2.5 Alternativní zdroje energie

Při návrhu inteligentních budov se stále více bere v potaz obnovitelná energie. Pomocí zdrojů této energie se objekty stávají méně závislými na energii z elektráren a jejich provoz se stává ekonomičtější. V rámci menších objektů lze dosáhnout i jejich energetické soběstačnosti. Systémy v inteligentních budovách jsou schopné rozhodovat jak aktuálním i plánovaném využití získané energie, tak i o řízení výkonu daných zdrojů energie.

2.5.1 Fotovoltaické panely

Využívají vnitřního fotoelektrického jevu, kdy dopadající elektromagnetické záření způsobuje uvolňování elektronů a vznik stejnosměrného proudu. Fotovoltaické panely obsahují fotovoltaické články, které se podobají velkoplošným fotodiodám.

Vzhledem ke klesající ceně a rostoucí účinnosti fotovoltaických panelů se zvyšuje i jejich využití v inteligentních budovách. Přes den mohou napájet některé spotřebiče a systémy v objektu, ale také nabíjet akumulátory. energii z akumulátorů lze poté v noci využít například pro osvětlení a napájení tepelných čerpadel.

2.5.2 Solární kolektory

Tato zařízení jsou určena k pohlcování slunečního záření a následné přeměně jeho energie na tepelnou. Teplonosnou látkou, které je energie předávána, je většinou nemrznoucí směs protékající kolektorem. Vlivem dopadajícího slunečního záření se ohřívá absorpční plocha předávající energii teplonosnému médiu. Pro snížení tepelných ztrát jsou čelní plochy solárních kolektorů zasklené a zbylé boční a zadní plochy tepelně izolované. [8]

Výhodou solárních kolektorů je velmi účinný a rychlý ohřev vody vlivem slunečního záření. Protože jsou závislé na intenzitě dopadajícího světla, jejich výkon podstatně ovlivňuje oblačnost a úhel natočení absorpční plochy vzhledem ke slunci.

Největší využití solárních kolektorů je v přechodných obdobích mezi létem a zimou, kdy přijatá energie ze slunečního záření odpovídá potřebné energii pro ohřev teplé užitkové vody. V zimě jejich výkon vlivem nižšího slunečního svitu klesá. V létě se projevuje jejich hlavní nevýhoda, přehřívání. Po ohřevu vody a její akumulaci v zásobnících se systém přestává chladit a může dojít k jeho poškození. Proto je nutné panely bezpečným způsobem odstavit, zastínit.

2.5.3 Tepelná čerpadla

Tepelná čerpadla jsou alternativními zdroji energie a jejich využití v projektech inteligentních budov má své opodstatnění. Jelikož jejich pomocí přijímáme teplo z okolního prostředí, stávají se výhodným zdrojem tepelné energie například pro sálavé

otopné plochy. Tepelnými čerpadly můžeme získávat teplo ze vzduchu, vody nebo ze země. Příjem tepla ze vzduchu je nejlevnější variantou, jeho nevýhodou jsou změny klimatu, které se projeví na výkonu. Vyskytuje se možnost použít „odpadní“ teplý vzduch, kde teplota kolísá v daleko menším rozmezí. Podmínkou je jeho dostupnost. Pro příjem tepla z vody nás omezuje blízký výskyt vhodných vodních zdrojů nebo odpadní vody. Nejzajímavější možností jsou tepelná čerpadla využívající teplo ze země. Tato varianta nabízí nejstálější podmínky pro příjem tepla a v případě vertikálního použití nevyžaduje mnoho prostoru. Díky uvedeným vlastnostem se sálavé otopné plochy v kombinaci s tepelným čerpadlem často využívají v inteligentních rodinných domech, kde dokáží plně pokrýt požadavky uživatelů [9].

2.6 Osvětlení a stínění

Do řízení osvětlení nepatří pouze regulace světelných zdrojů instalovaných v budově, ale i regulace světla přicházejícího zvenčí. Sluneční záření nás může oslňovat nebo nadměrně zahřívat vnitřní prostory, což vede spolu se zapnutým vytápěním k přetápění místností a nutnosti větrání. Pokud dokážeme reagovat na sluneční svit pronikající do místností, můžeme tomu i uzpůsobit další systémy inteligentní budovy, respektive systémy automaticky upraví činnost právě vykonávaných procesů.

2.6.1 Stínění denního světla a slunečního záření

Stínění oken a dveří je jedna ze základních potřeb uživatelů. Právě prostup světla do místnosti je často měněn v závislosti na činnosti, kterou v dané chvíli vykonáváme. Různé činnosti či nálady uživatelů vyžadují jinou intenzitu světla. Pro tyto účely se nám nabízejí různé žaluzie, markýzy či rolety ale i chytrá skla.

Mnoho domácností, ale i firem hledá způsoby jak snížit náklady spojené s provozem budov. V pracovních místnostech nebo kancelářích musíme svítit i přes den kvůli vykonávané práci a přesto nás může slunce přímo nebo odrazem oslňovat a navíc zahřívat místnost na vyšší teploty. Tento problém odstraňují profilované řízené žaluzie. Ty mohou jednak zabránit prostupu přebytku světla do místnosti, ale i zároveň dodat dostatek světla na pracovní plochu. Vhodným natočením žaluzií lze světlo směřovat a odrazit ho na strop, kde se nachází světlo odrazivá plocha, jenž nyní nahrazuje světelný zdroj v místnosti vyžadující elektřinu. Systémy v inteligentních budovách dokáží takto osvětlovat místnosti bez potřeby zásahu osob. Pouze při vyvíjení programu se uvažuje poloha a orientace objektu, program pak podle data a denní doby reguluje natočení žaluzií sám.

Další možností omezení prostupu světla jsou inteligentní skla. Skla reagují na velikost proudu jimi protékajícím změnou svého zabarvení a tím citlivě regulují prostup světla. Díky tomu může okno pomocí světelného snímače ihned reagovat na různou intenzitu slunečního záření. Tento typ inteligentního skla nám umožňuje i přes různá zatemnění pohled ven. Druhým typem jsou skla, která se stanou pouze průsvitnými (ne průhlednými) v závislosti na řídicím proudu [4].

2.7 Sběrnice

Jak již bylo zmíněno, v inteligentních budovách se nachází různé systémy, které spolu potřebují komunikovat a předávat si data. Na zařízeních různých systémů mohou však být implementovány odlišné sběrnice a jejich komunikační protokoly jsou dané výrobcem. Většina z nich má dané své vlastní protokoly pro svá zařízení.

2.7.1 KNX/EIB

Evropská instalační sběrnice – celosvětový standart pro systémovou techniku. Využívá se k propojení měřicích zařízení, akčních členů, regulátorů a snímačů. Jako příklad lze uvést ovládání osvětlení a žaluzií. Stiskem tlačítka na ovladači se vyšle telegram přes sběrnici akčnímu členu. Po přijetí příkazu odesílá akční člen potvrzující telegram a vykoná požadovanou akci.

Data se sdílí pomocí datového telegramu a pomocí sběrnice digitálně přenášejí. Sběrnici lze realizovat různými způsoby:

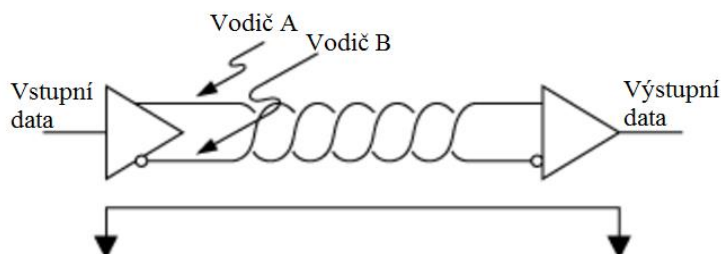
- KNX/TP (Twisted Pair) – kroucený pár vodičů,
- KNX.PL – silový kabel,
- KNX.RF – rádiové spojení,
- Přenos dat pomocí optických vláken.

Důvod vzniku KNX/EIB byl pokrytí všech instalací technického zabezpečení budov. Tím se zjednodušilo projektování budov a následná realizace budov [10].

2.7.2 RS 485

Standart RS-485 udává vytvoření sériové komunikace pomocí polo duplexního sériového spoje, je dán předpisem TIA/EIA-485-A. Využívá se pro přenos digitálního signálu na vzdálenost 1200 m s rychlostí přenosu do 10 Mb/s. Maximální počet zařízení je ovlivněn zatížením sběrnice vysílači a přijímači a je omezen na 32 zařízení.

Pro přenos signálu se využívá dvou vodičů stejné délky navzájem navinutých a obklopených stíněním. Tento typ vedení se nazývá twisted pair (kroucená dvojlinka) a jeho hlavní výhodou je eliminace elektromagnetického rušení. Přenos se tedy uskutečňuje po dvou vodičích s různými potenciály, jejichž signály jsou navzájem negované.



Obrázek 4 - Symetrické vedení RS-485 [11]

V závislosti na rozměrech vodičů a použitém materiálu pro izolaci má vedení svojí charakteristickou impedanci. Tento parametr je obvykle stanoven výrobcem.

Specifikace RS485 doporučuje udržovat hodnotu charakteristické impedance na $120\ \Omega$, není to však bezprostředně nutné [11].

Vzhledem k vysokým frekvencím a velkým vzdálenostem by měla být věnována velká pozornost přizpůsobení vedení. K tomu se využívá ukončovacích rezistorů zapojených na koncích vedení. Velikost odporu rezistorů by měla být ideálně stejná jako hodnota charakteristické impedance vedení.



Obrázek 5 - Zapojení ukončovacích rezistorů [11]

Pokud se odpor ukončovacích rezistorů liší od impedance vedení, dojde k odrazu signálu ve vedení. Obecným pravidlem je umístění zakončovacích rezistorů na oba konce vedení. Toto platí pro většinu systémů, existují ale výjimky, kde je potřeba zakončení pouze na jedné straně. Tento případ je pro systémy s jedním vysílačem umístěným na konci vedení. Na straně vysílače není tedy nutné využít zakončovacího rezistoru, protože se předpokládá směr toku dat pouze od tohoto vysílače [11].

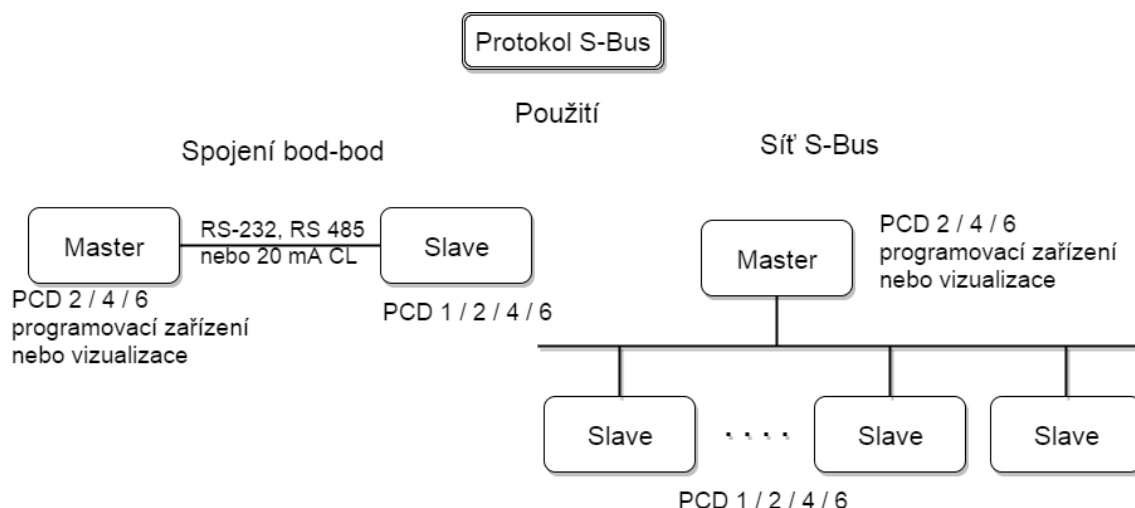
Nejjednodušší možnost zapojení RS-485 sítě spočívá ve spojení jednoho vysílače a jednoho přijímače. Tohoto zapojení se využívá v mnoha případech, avšak hlavní výhoda RS-485 spočívá v použití více vysílačů a přijímačů připojených k jednomu vedení. Maximální počet stanic závisí na tom, jak moc konkrétní stanice zatěžuje systém. Ideálně mají všechny přijímače a neaktivní vysílače nekonečnou impedanci a tím nedochází k zatížení systému. Reálně však stanice sběrnici zatěžují. Pro pomoc při návrhu RS-485 sítě a určení možného počtu připojeným stanic byla zavedena „zatěžovací jednotka“. Všechna zařízení připojená k síti RS-485 by měla být charakterizována násobkem této jednotky. Maximální možný počet připojených stanic propojených vedením o minimální charakteristické impedanci $120\ \Omega$ je 32 [11].

2.8 Saia S-Bus protokol

Používá se buď pro zajištění přímé komunikace (point-to-point) mezi programovatelnými automaty řady SAIA PCD na úrovni linkové vrstvy neb v lokálních sítích typu master/slave. Pro komunikaci lze použít různá sériová rozhraní stanic SAIA PCD nebo ji lze zajistit fyzickou vrstvou standartu RS 485. Pomocí kroucené dvojlinky se stíněním lze připojit až 255 PCD stanic, spojených v 8 segmentech po 32 PCD stanicích [12].

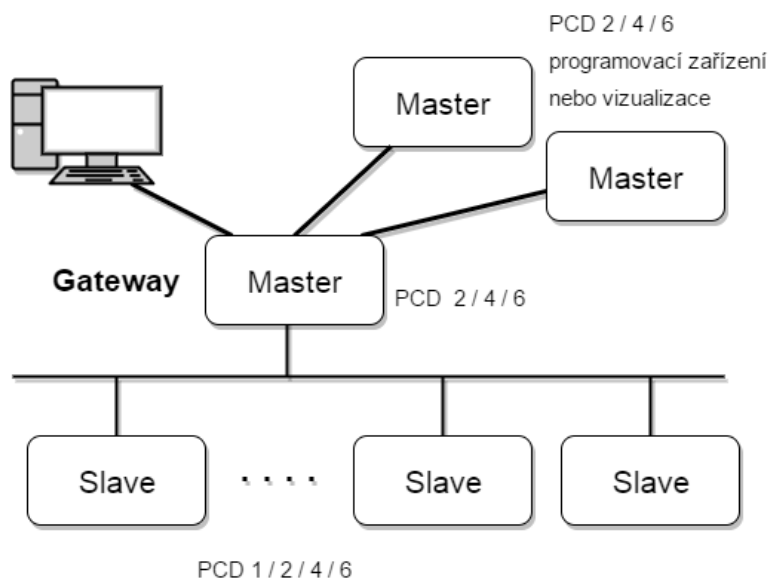
2.8.1 Typické aplikace

S-Bus protokol byl vyvinut výhradně pro RS 485 S-Bus síť. Tento protokol však může být bez problémů použit i pro jakákoliv jiná sériová rozhraní určená pro přímou komunikaci.



Obrázek 6 - Použití protokolu S-Bus

Z řady programovatelných automatů SAIA PCD lze použít jakoukoliv stanici (od PCD1 po PCD3) nebo programovací jednotku jako master. Také některé dohlížecí systémy poskytují ovladače pro S-Bus protokol, jedná se například o Promotic, In Touch a ControlWeb. Bez opakovačů lze pomocí vedení o délce maximálně 1200 metrů je možné propojit až 32 stanic. Pokud potřebujeme komunikovat na delší vzdálenosti, je vhodné použít modem spojený s telefonní linkou. Zde většinou spojení zajišťuje rozhraní RS 232 s S-Bus protokolem.



Obrázek 7 - Princip funkce Gateway

Použití protokolu S-Bus s modemy umožňujícími komunikaci stanic SAIA PCD přes telefonní síť nám může zprostředkovat vzdálený dohled, ovládání a programování těchto stanic. Použít můžeme jak analogové telefonní sítě, tak i digitální (ISDN) či standard Globální Systém pro Mobilní komunikaci nazývaný GSM.

Pokud je síť tvořena jednou stanicí typu master a více zařízeními typu slave, funkce (brána) Gateway umožňuje připojit další nadřazené stanice typu master s možností komunikace se všemi zařízeními typu slave [12].

2.8.2 Parametry

Přenosová rychlost	od 110 do 38 400 bit/s
Rychlost přenosu dat	standardně: 167 registrů/s (9600 bit/s) Maximálně 265 registrů/s (19200 bit/s)
Start bit	1
Délka znaku	1 8 bitů mód SM2/SS2: bez parity Mód SM1/SS1: parita 1/0 Mód SM0/SS0: bez parity
Reakční časy pro přenos 9600 bit/s	1 až 8 V/V nebo flagů: 18 ms 128 V/V nebo flagů: 35 ms 1 registr: 20 ms 32 registrů: 125 ms
Detekce poruch	CRC-16

2.8.3 OSI model aplikovaný pro SAIA S-Bus

Tabulka 1 - OSI model protokolu S-Bus

Vrstva	Funkce
Aplikační vrstva	SAIA S-Bus protokol
Prezentační vrstva	Telegramy 0 – 255
Relační vrstva	Nevyužito
Transportní vrstva	Nevyužito
Síťová vrstva	Vynucený paritní mechanismus
Linková vrstva	ACK/NAK mechanismus Bytová synchronizace + CRC 16 kontrola chyb
Fyzická vrstva	RS 485, RS 232, 20 mA CL

2.8.4 Aplikační vrstva

Aplikační vrstva má dvě funkce. Jsou jimi *služba přenosu dat* a *služba spouštění do provozu*. Služba přenosu dat je podmnožina S-Bus protokolu nazývaná také Redukovaný protokol. Stanice master může pouze číst a zapisovat data ve stanici slave

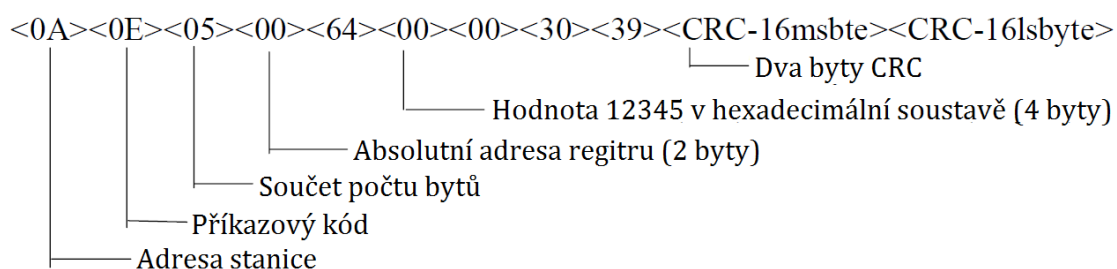
a také číst její status. Mezi tyto data patří: Vstupy, výstupy, čítače, časovače, flagy, registry, datové bloky a systémové hodiny.

Služba spouštění do provozu podporuje celý S-Bus protokol a je nazývána S-Bus PGU. K ovládání jednotlivých stanic slave v síti se využívá programovací jednotka (PGU). Možnost vzdáleného ovládání nebo programování stanice slave přes podporovanou telefonní síť [12].

2.8.5 Prezentační vrstva

Velká část telegramů má pevně danou délku, čímž se ruší požadavek na ukončovací znak. Telegramy, které nemají pevně danou délku, obsahují byte s informací o délce přiřazen za příkazovou částí.

Pokud běží procesor, mohou mít telegramy maximální délku 32 registrů, čítačů a časovačů nebo 128 flagů, vstupů a výstupů. Při zastaveném procesoru se délka telegramu zvětšuje na 263 bytů. To umožňuje rychlejší nahrávání programu [12]. Příklad S-Bus telegramu je na obrázku 8. Známořňuje zápis registru 100 s hodnotou 12345₁₀ do stanice 10 v síti S-Bus.



Obrázek 8 - S-Bus telegram

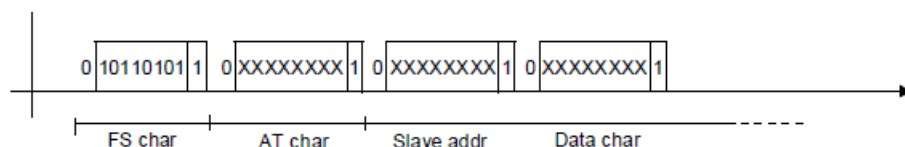
2.8.6 Síťová vrstva

Služba síťové vrstvy je jednoduchá a využívá výhod multidrop módu DUARTU (duálního komunikačního kanálu) použitého v řadách PCD. Funkce multidrop zjednodušuje tvar telegramu, nepoužívá startovací znak na začátku telegramů. Tento mód podporuje dva různé typy znaků, a to adresové a datové. Rozdíl spočívá v nastavení paritního bitu u adresového znaku na 1 a u datového na 0.

Telegram se skládá z adresového znaku následovaného číslem určujícím počet datových znaků určených pro konkrétní slave stanici. Pokud slave stanice detekuje adresový znak v toku dat, porovná jeho hodnotu se svojí adresou a poté se rozhodne, zda přijme následující data. Adresa 255 je určena pro přenosové zprávy, na které se neočekává žádná odpověď. Tato operace se nazývá paritní mechanismus [12].

Datový mód (SM2/SS2)

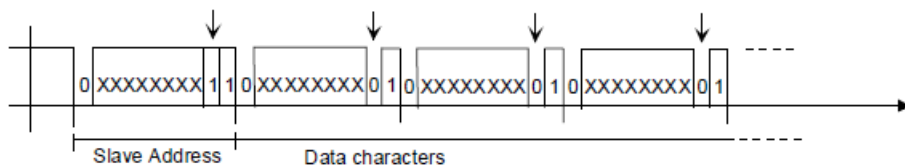
V tomto módu každý telegram začíná speciálním znakem FS. Tento znak nabývá vždy hodnoty B5 a nachází se v hlavičce telegramu. Následující znak (AT) určuje, zda se jedná o žádost nebo odpověď.



Obrázek 9 - Znázornění datového módu

Paritní mód (SM1/SS1)

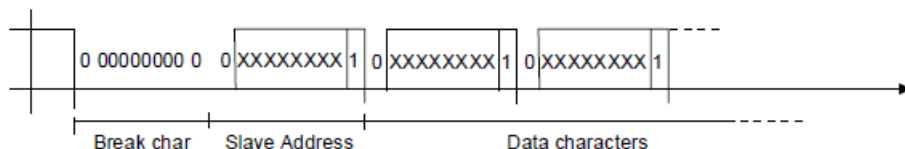
Paritní bit je používán v multidrop módu k určení typu daného znaku, pokud je paritní bit nastaven na 1, jedná se o adresový znak. Datový znak indikuje paritní bit nastavený na 0.



Obrázek 10 - Znázornění paritního módu

Přerušovací mód (SM0/SS0)

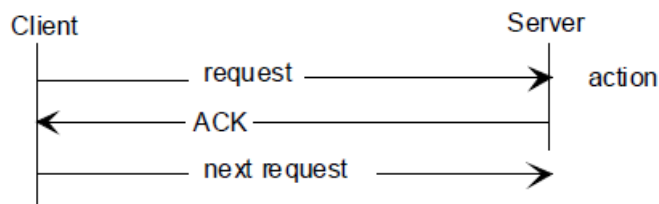
Použití speciálního znaku o nulové hodnotě.



Obrázek 11 - Znázornění přerušovacího módu

2.8.7 Linková vrstva

Vrchní mezivrstva řídí point to point komunikaci mezi stanicemi připojenými k síti. Pokud se telegram ztratí nebo je poškozený, pak tato vrstva zařídí znovu odeslání tohoto telegramu. V případě detekce poškozeného telegramu a nulové odezvy klient čeká určenou dobu před odesláním žádosti. Pokud vyšle třikrát žádost a nedostaví se odpověď, klient vyšle zprávu vrchní vrstvě o poruše spojení.



Obrázek 12 - Úspěšný přenos telegramu

Pokud je poškozený telegram přijat severem a klient nedostane odpověď, telegram je znovu poslán po uplynutí čekací doby (timed out) klienta [12].

2.8.8 Fyzická vrstva

SAIA-Bus funguje na všech typech komunikačních portů generace stanic SAIA PCD. Pro přenos dat využívá rozhraní RS 485 nebo RS 232.

3. VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT OBJEKTU

Pro optimální návrh otopné soustavy a zdroje tepla je nutné určit měrnou ztrátu prostupem tepla H_T objektu a následně průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} . Při volbě výkonů radiátorů je hlavním kritériem tepelná ztráta v dané místnosti při nejnižších možných vnějších teplotách daných dlouhodobým měřením.

Průměrný součinitel prostupu tepla lze určit ze vztahu:

$$U_{em} = \frac{H_T}{A} \quad [W/(m^2K)] \quad (1)$$

Kde H_T je měrná ztráta prostupem tepla $[W/K]$;
 A celková plocha všech ochlazovaných konstrukcí ohraničujících objem budovy $[m^2]$;

Měrná ztráta se stanoví zjednodušeným postupem podle ČSN 12831 za vztahu:

$$H_T = \sum (A_j * b_j * U_j) + A * \Delta U_{tbm} \quad [W/K] \quad (2)$$

Kde A_j je plocha j-té ochlazované konstrukce na systémové hranici budovy, v m^2 ;
 A plocha všech ochlazovaných konstrukcí na systémové hranici budovy;
 U_j součinitel prostupu tepla j-té ochlazované konstrukce, ve $W/(m^2K)$;
 b_j činitel teplotní redukce j-té konstrukce;
 ΔU_{tbm} průměrný vliv tepelných vazeb mezi ochlazovanými konstrukcemi na systémové hranici budovy, ve $W/(m^2K)$ [13]

Součinitelem prostupu tepla U se určuje vliv konstrukce na šíření tepla prostupem. Je ho možné vypočítat jako převrácenou hodnotu tepelného odporu R celé konstrukce a ve většině případů se do něj zahrnují vlivy tepelných mostů.

Tepelný odpor je podílem tloušťky konstrukce a součinitele tepelné vodivosti:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad [m^2K/W] \quad (3)$$

3.1 Stanovení tepelných ztrát místností

Výpočty se vztahují k modelovému objektu (příloha 1) o čtvercovém půdorysu s délkou jedné strany přibližně 11 m. Objekt je navržen pro nízkou spotřebu tepla na vytápění. Rozčleněn na čtyři identické místnosti o ploše 5x5 metrů. V každé místnosti se nachází okno s rozměry 1,5x1,5 m a dvojice vnitřní dveře vedoucí do přilehlých prostor. Světla výška místností je stanovena na 3 m. Přesné rozměry jsou vyznačeny v příloze.

Pro vnější stěny jsou uvažovány broušené cihelné bloky s šířkou 440 mm spojované speciální pěnou pro zdění. Účelem jejich použití je minimalizace ztrát tepla přes spáry mezi bloky. Podobné cihelné bloky tvoří vnitřní příčky v objektu, pouze se změnou šířky stěny na 140 mm. Strop tvoří litá deska betonu o tloušťce 300 mm a položený polystyren s tloušťkou 200 mm.

Tabulka 2 - Použité stavební prvky pro výpočet

Konstrukce	Materiál	R [m ² K/W]
Vnější stěny	Cihelný blok Porotherm 44 Profí Dryfix	3,58
	Omítka Hasit 690	0,019
Vnitřní stěny	Cihelný blok Porotherm 14 Profí Dryfix	0,53
	Litý beton	0,25
Strop a podlaha	Podlahový polystyren	1,14
	Podlahová směs Boxit	0,083
	Okna	0,926
Vnější dveře	Pramos	0,833

Pro všechny místnosti se dále započítává:

- Vnitřní teplota $t_{in} = 24\text{ °C}$,
- Teplota místnosti v přilehlých patrech $t_{out2} = 5\text{ °C}$,
- Venkovní teplota $t_{out} = -25\text{ °C}$.

Tepelný odpor vnější stěny s omítkou o tloušťce 1 cm po obou stranách:

$$R_{vn} = R_{BL} + R_{OM} = 3,58 + 2 * 0,019 = 3,618\text{ m}^2\text{K/W} \quad (4)$$

Tepelný odpor stropu a podlahy:

$$\begin{aligned} R_{ST} &= R_{OM} + R_{PAN} + R_{POL} + R_{BOX} = 0,019 + 0,25 + 1,14 + 0,083 \\ &= 1,489\text{ m}^2\text{K/W} \end{aligned} \quad (5)$$

Ztráta prostupem tepla:

- přes vnější stěnu

$$U_{Vnější} = (S_{stěny} - S_{okna}) * \frac{1}{R} = \frac{(10 * 3 - 1,5 * 1,5)}{3,618} = 7,68698 \text{ W/K} \quad (6)$$

- Přes okno

$$U_{Okna} = S_{okna} * \frac{1}{R} = \frac{1,5 * 1,5}{0,926} = 2,429 \text{ W/K} \quad (7)$$

- Přes podlahu a strop

$$U_{PS} = 2 * S_{podlaha} * \frac{1}{R} = \frac{2 * 5 * 5}{1,489} = 33,579 \text{ W/K} \quad (8)$$

- Přes dveře

$$U_{Dveře} = S_{Dveře} * \frac{1}{R} = \frac{1,05 * 2,1}{0,833} = 2,647 \text{ W/K} \quad (9)$$

Celková ztráta prostupem tepla pro tuto místnost

$$\begin{aligned} Q_1 &= \sum U * \Delta t \\ &= (U_{Vnější} + U_{Okna} + U_{Strop} + U_{Dveře}) * (t_{in} - t_{out}) \\ &\quad + U_{Podlaha} * (t_{in} - t_{patro}) \\ &= (7,687 + 2,429 + 16,789 + 2,647) \\ &\quad * (25 - (-28)) + 16,789 * (25 - 3) = 1935,6 \text{ W} \end{aligned} \quad (10)$$

Průměrný vliv tepelných vazeb $\Delta U_{tbm} = 0,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ lze určit z návrhových tabulkových hodnot normy ČSN 73 0540-3.

Činitel teplotní redukce b je též normou stanoven pro vnější stěny $b_1 = 1$ a pro dveře a okna $b_2 = 1,15$.

3.2 Stanovení tepelných ztrát celého objektu

Plocha vnějších stěn:

$$\begin{aligned} A_{Stěn} &= A_{celk} - A_{oken} - A_{dveří} = 132,24 - 9 - 1,8 \\ &= 121,44 \text{ m}^2 \end{aligned} \quad (11)$$

Součinitel prostupu tepla H_T za předpokladu vytápěných prostorů nad a pod objektem:

$$\begin{aligned}
H_T &= \sum \left(\frac{A_j}{R_j} * b_j \right) + A * \Delta U_{tbn} \\
&= \left(\frac{A_{stěn}}{R_{stěny}} * b_1 + \frac{A_{oken}}{R_{okna}} * b_2 + \frac{A_{dveří}}{R_{dveří}} * b_2 \right) + A \\
&\quad * \Delta U_{tbn} \\
&= \left(\frac{121,44}{3,618} + \frac{9}{0,926} * 1,14 + \frac{1,8}{0,833} * 1,14 \right) + 132,24 \\
&\quad * 0,1 = 60,33 \text{ W/K}
\end{aligned} \tag{12}$$

Průměrný součinitel prostupu tepla:

$$U_{em} = \frac{H_T}{A} = \frac{40,112}{75,06} = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K} \tag{13}$$

Z výpočtu tepelných ztrát celého objektu se navrhuje otopná soustava, následně lze zvolit kotel s potřebným výkonem.

4. MATLAB SIMULINK/SIMSCAPE

Uvažovaný objekt bylo potřeba namodelovat a následně pomocí simulace navrhnout regulátory. Pro tyto účely bylo využito prostředí Simulink programu Matlab s využitím knihoven pro modelování fyzikálních systému Simscape. Simscape umožňuje vytvořit síťovou reprezentaci systému založeného na přístupu jednotlivých bloků k fyzikální síti. Pomocí tohoto přístupu spolu připojené bloky navzájem interagují a umožňují přestup energie přes jejich porty. Spoje nemají určený směr, napodobují fyzické spojení mezi prvky [14].

Model je sestaven z bloků knihoven *Foundation Library – Thermal a Utilities*. Složka *Thermal* je dále členěna na *Thermal Elements*, *Thermal Sensors* a *Thermal Sources*, tedy tepelné prvky, senzory a zdroje.

V modelu jsou využity následující bloky:

- *Conductive Heat Transfer* – přestup tepla vedením materiálu o dané ploše, tloušťce a tepelné vodivosti.
- *Convective Heat Transfer* – přestup tepla prouděním z nebo do materiálu o dané ploše a součiniteli prostupu tepla.
- *Thermal Mass* – tepelná kapacita daných materiálu. Je dána hmotností tělesa a jeho měrnou tepelnou kapacitou. V bloku lze nastavit počáteční teplotu tělesa a je připojen k fyzikální síti pouze jedním portem zajišťujícím přívod a odběr tepla.
- *Thermal Reference* – reprezentuje referenční bod s nulovou nebo konstantní teplotou.
- *Ideal Temperature sensor* – měření teploty. Blok má porty pro měřený bod (A), referenční bod (B) a výslednou měřenou teplotu (T). Kromě tohoto bloku lze využít i senzor pro měření tepelného toku mezi dvěma body.
- *Ideal Heat Flow/Temperature Source* – ideální zdroje tepelného toku nebo teploty se vstupním portem (S), referenčním (A) a výstupním portem (B).

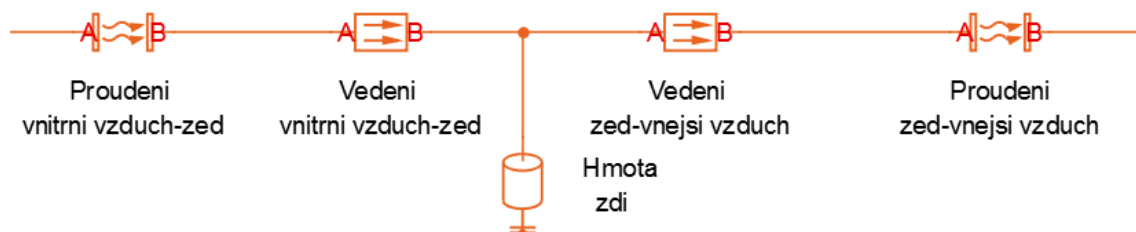
4.1 Model zdi

Základním prvkem celého objektu je model vnější konstrukce znázorněný na obrázku 13. Stěna je tvořena pomocí bloků *Conductive Heat Transfer*, *Convective Heat Transfer* a *Thermal Mass*. V modelu je hmota zdi uvažována v polovině tloušťky konstrukce. To je idealizované řešení, reálně by měla být hmota rovnoměrně rozložena přes celou tloušťku konstrukce s použitím více bloků *Thermal Mass* a *Conductive Heat Transfer*. Pro účely této práce stačí idealizované řešení.

Nejdříve je nutné započítat hmotu samotné zdi pomocí bloku *Thermal Mass*, který je umístěn mezi dva bloky *Conductive Heat Transfer* zajišťujícími přenos tepla vedením v samotném tělese zdi. Nastavením parametrů těchto bloků se uvažuje hmota

zdi v polovině tloušťky její konstrukce. Hodnoty pro určení vlastností jednotlivých částí stavební konstrukce jsou vyčteny z technické dokumentace výrobce.

Kromě přenosu tepla vedením se v práci uvažuje i přenos tepla prouděním zajištěný bloky *Convective Heat Transfer*. Tento jev nastává především u kapalin a plynů a tedy i u vzduchu v místnosti. Při kontaktu vzduchu s tělesem stěny vzniká tenká vrstva vzduchu ovlivněná teplotou stěny. Se změnou teploty v této tenké vrstvě se mění i hustota plynu. Tím plyn s menší hustotou začíná stoupat, chladnější plyn naopak klesat a vzniká proudění.



Obrázek 13 - Model stěny

Tímto způsobem jsou vytvořeny i zbylé části konstrukce (okna, dveře, vnitřní zdi). Následně jsou z nich vytvořeny subsystémy pro lepší přehlednost schématu. Z levé strany je připojen vzduch v místnosti, z pravé strany potom teplota vnějšího vzduchu nebo v případě vnitřní příčky teplota vzduchu sousedící místnosti.

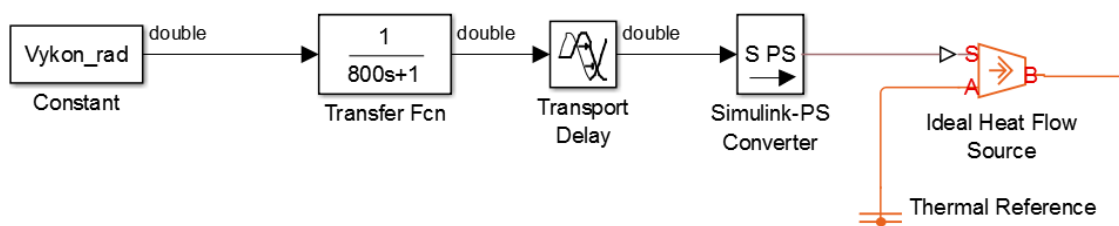
4.2 Model radiátoru

Pro jednotlivé místnosti jsou zvoleny radiátory Korado Radik Klasik typ 21 o výkonu 2061 wattů při teplotním spádu 75/65/20 °C. Tato volba vychází z výpočtů tepelných ztrát místností v rovnicích (5) až (8) v kapitole Tepelné ztráty objektu a s ohledem na rozměry a umístění oken vyčtených z půdorysu v příloze. Šířka okna je 1,5 m a výška parapetu 0,9 m, šířka radiátoru potom 1,6 m a výška 0,6 m. To odpovídá reálnému použití.

Radiátory jsou realizovány jako setrvačný členek prvního řádu [15] s dopravním zpožděním

$$F(p) = \frac{e^{-200p}}{800p + 1}. \quad (14)$$

Na obrázku 14 je znázorněn model otopného tělesa s konstantním, neřízeným výkonem. Blok *Ideal Heat Flow Source* zajišťuje při připojení modelu k fyzikální síti chování ideální zdroje tepelného toku. Před připojením k tomuto bloku je nutné zajistit konverzi hodnot pomocí bloku *Simulink-PS Converter*. Teplotní reference je stanovena na 0 °C pro celý model.

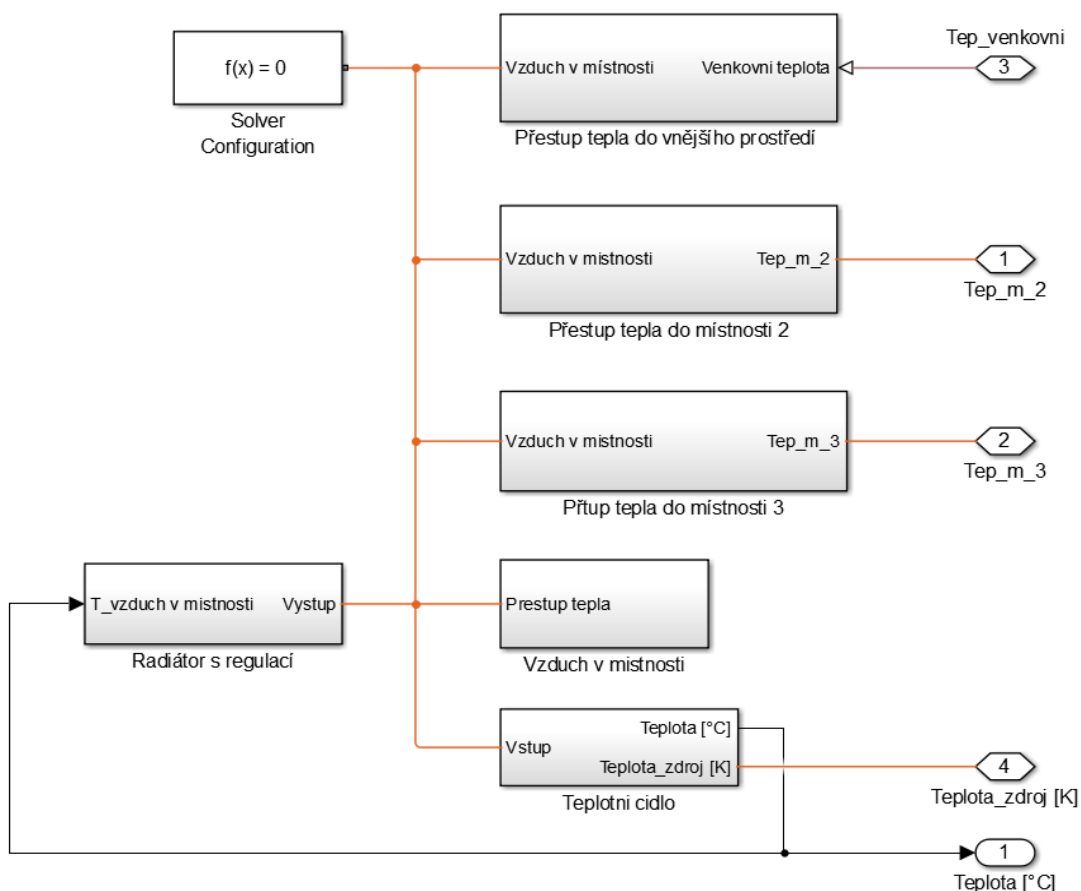


Obrázek 14 - Model otopného tělesa

V následujícím postupu bude výkon otopného tělesa záviset na míře otevření řízeného ventilu v rozsahu 0 - 100 %. To lze zajistit přidáním násobícího členu za blok *Vykon_rad*, jehož druhým vstupem bude výstup z regulátoru.

4.3 Model místnosti

Místnost je sestavena ze tří subsystémů tvořících konstrukční obálku místnosti a tří dalších subsystémů popsanych níže. Celý model je znázorněn na obrázku 15. Subsystém *Přestup tepla do vnějšího prostředí* obsahuje model vnější stěny, okna a stropu. Následující dva subsystémy tvoří dvě vnitřní stěny a dvoje dveře přilehlé k sousedním místnostem. *Tep_venkovni*, *T_m_2* a *T_m_3* jsou teploty prostředí ovlivňujících místnost (vnějšího vzduchu a sousedních místností).



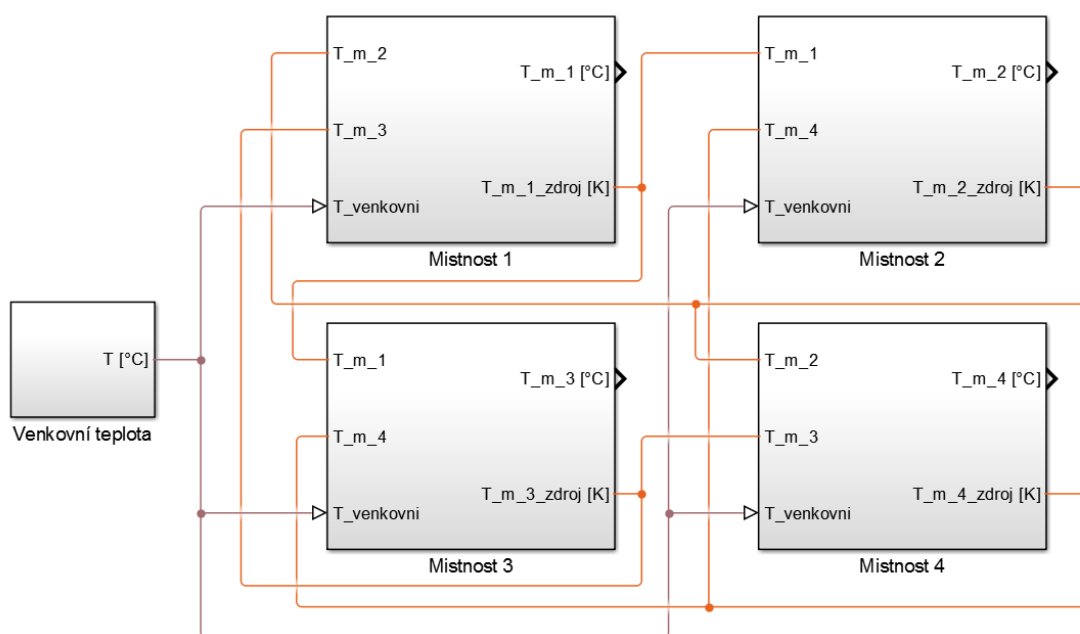
Obrázek 15 - Model místnosti

Dále místnost tvoří subsystém *Tepelná kapacita*, v němž je započítán vzduch v místnosti a nábytek, teplotní čidlo a radiátor. Hmotu a plochu nábytku je nutné započítat pro reálné chování místnosti vzhledem k jeho tepelné kapacitě. Pokud se hmota nábytku nezapočítá, místnost se vytápí znatelně rychleji, tím je následně ovlivněn i výpočet regulátoru.

Výstupem modelu místnosti je teplota *Teplota_zdroj* v Kelvinech a *Teplota* ve stupních Celsia. Jejich hodnoty jsou přepočítávány v subsystému *Teplotní čidlo*. Výstup *Teplota_zdroj*, chovající se jako ideální zdroj tepla, využívají místnosti 1 a 3 při přepočtu přestupu tepla přes vnitřní stěny. Výstup *Teplota* je přiveden do radiátoru, kde je porovnáván se žádanou hodnotou pro určení regulační odchylky pro regulátor.

4.4 Model objektu

Jak již bylo řečeno v 3.1.1, model objektu je složen ze čtyř místností, které jsou znázorněny i s jejich vzájemnými tepelnými vazbami na obrázku 16. Teplo předané mezi místnostmi je vedeno po fyzikální síti. Teplota vzduchu v místnosti 1 ovlivňuje vnitřní teplotu sousedních místností 2 a 3, obdobně tomu je u zbylých tří místností. Na celý objekt působí vnější teplota načítaná do bloku *Repeating Sequenced Interpolated* z tabulky v xls souboru.



Obrázek 16 - Model objektu se čtyřmi místnostmi

5. NÁVRH REGULÁTORU

Pro regulaci je zvolen PI regulátor. Tento typ dokáže regulovat na nulovou regulační odchylku a je schopen odstraňovat poruchy vstupující do soustavy. Derivační složka není požadována, protože při jejím použití se zvyšuje náchylnost na větší akční zásahy při rychlých změnách měřené veličiny, která může být zatížena šumem.

Vzhledem k navržení objektu jako čtyřech identických místností je možné použít pro všechny místnosti regulátor se stejným přenosem.

Pro návrh regulátoru byla použita Ziegler-Nicholsova metoda. Kritické parametry T_{krit} a K_{krit} byly určeny z přechodových charakteristik teploty v místnosti. Tyto parametry lze určit po odečtení doby průtahu T_u a doby náběhu T_n [16]. Potom pro ně platí vztahy

$$K_{KRIT} \doteq \frac{\pi T_n}{2 T_u} + 1, \quad (15)$$

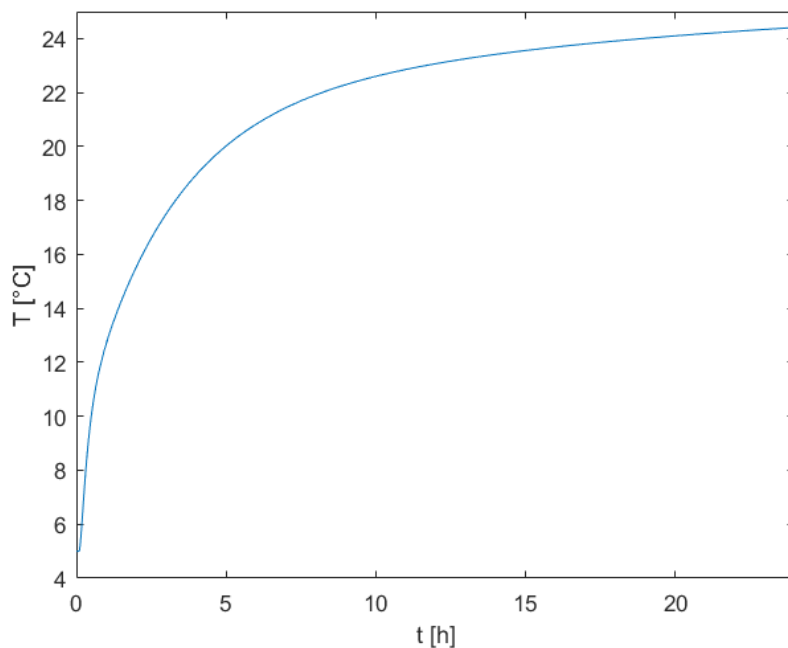
$$T_{KRIT} \doteq 4T_u. \quad (16)$$

Dále pro PI regulátor platí

$$K_R = 0,45K_{KRIT}, \quad (17)$$

$$T_I = 0,85T_{KRIT}. \quad (18)$$

Ze získané přechodové charakteristiky znázorněné na obrázku je nutno nejdříve získat inflexní bod. Tedy bod, v němž druhá derivace mění znaménko. Poté lze určit již zmíněnou dobu průtahu T_u a dobu náběhu T_n .



Obrázek 17 - Přechodová charakteristika teploty v místnosti

Pro výpočet regulátoru byly použity dvě přechodové charakteristiky odpovídající dvěma stavům, a to:

- 1) Stav, kdy venkovní teplota je na nejnižší možné teplotě a vytápí se pouze jedna místnost z 5 stupňů.
- 2) Stav, kdy se venkovní teplota blíží požadované teplotě v místnostech, a všechny místnosti se začínají vytápět.

Tabulka 3 - Odečtené doby průtahu a náběhu

Stav	1	2
T_n [s]	290,3	334,5
T_u [s]	4308	5601

Hodnoty doby náběhu a doby průtahu získané z charakteristik v těchto dvou stavech dále zprůměrovány a poté určeno zesílení regulátoru K_r a integrační časová konstanta T_i .

Tabulka 4 - Určení konstant PI regulátoru

Konstanta	Hodnota
T_u [s]	312,4
T_n [s]	4954,5
K_{Krit} [-]	25,8
T_{Krit} [s]	1249,7
K_R [-]	11,6
T_I [s]	1062,3

Přenos PI regulátoru má potom tvar

$$R = 0,0109 \frac{(1062,3p + 1)}{p}. \quad (19)$$

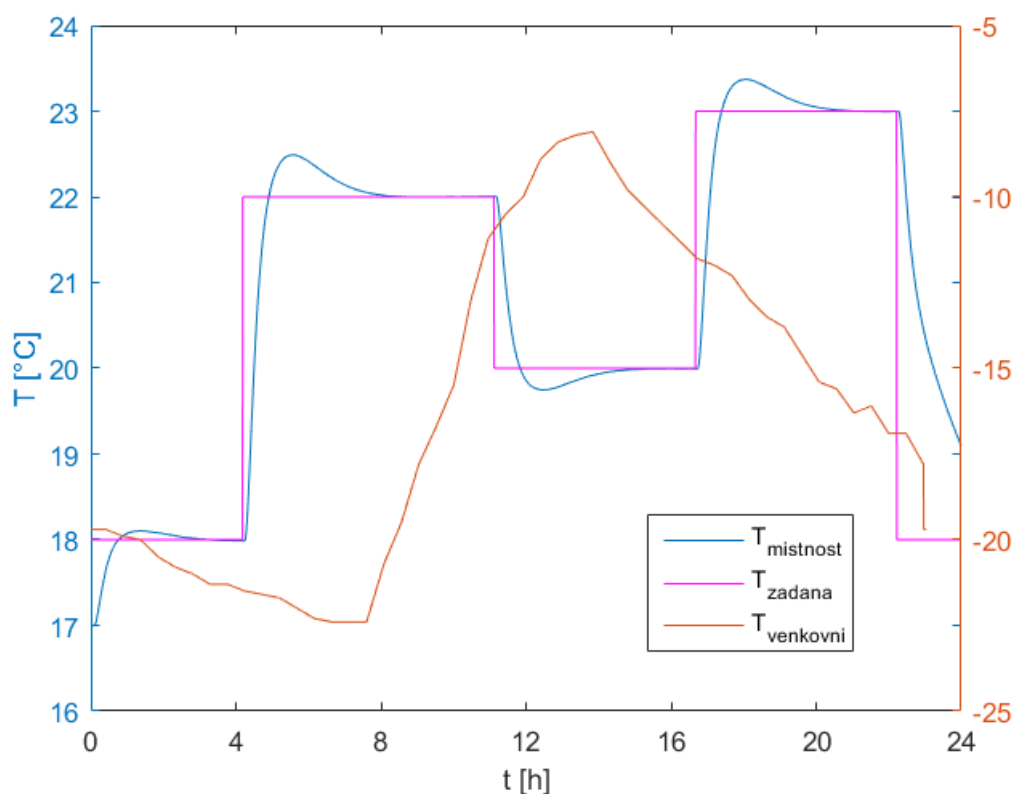
5.1 Simulace průběhů teplot v objektu

V simulacích tepelného chování navrženého objektu v průběhu 24 hodin je venkovní teplota načítána v prostředí Simulink do bloku *Repeating Sequence Interpolated* z xls souboru. V zobrazených průbězích na obrázcích 18, 19, 20 a 21 je znázorněna červenou barvou a její hodnoty se pohybují od $-22,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $-8,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dále jsou nastaveny počáteční hodnoty všech tepelných kapacit v modelu na $17\text{ }^{\circ}\text{C}$. Žádaná teplota v místnosti je rozdělena do čtyř časových intervalů a je realizována, obdobně jako teplota venkovní, blokem *Repeating Sequence Interpolated*.

Výsledky simulací jsou ovlivněny chybou způsobenou nezapočítáním hmoty a tepelné kapacity topného média v celé topné soustavě a absencí modelu kotle.

5.1.1 Konstantní výkon dodávaný do otopného tělesa s regulací radiátoru

V případě dodání topného média s konstantní teplotou $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ po celou dobu simulace a užití PI regulátoru připojeného ke škrticímu členu na vstupu radiátoru vzniká nekmitavý průběh teploty v místnostech. Při přechodu teplot mezi dvěma časovými intervaly vzniká jeden překmit teploty vzduchu oproti žádané teplotě. Na obrázku 18 je průběh teploty vzduchu v jedné z místností zaznamenán. Největší překmit s hodnotou $0,48\text{ }^{\circ}\text{C}$ vzniká při přechodu žádané teploty z $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ na $22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Velikost překmitu je možné snížit na úkor delšího ustálení přechodného děje. Obdobně požadavek na rychlejší ustálení přechodného děje by znamenal větší překmit.

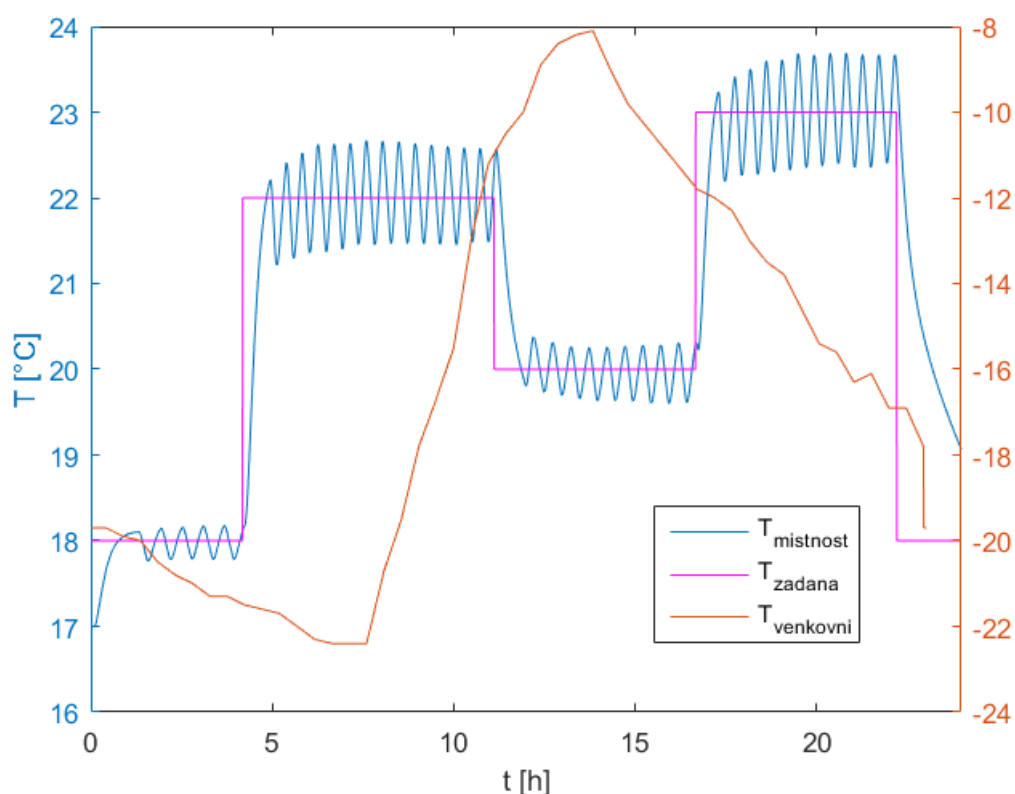


Obrázek 18 - Průběhy teplot při regulaci konstantního výkonu radiátoru

Toto řešení nelze při realizaci řízení teploty v objektu použít. Vzhledem k využívání konstantního výkonu na vstupu soustavy by byl provoz neekonomický. Průběhům znázorněným na obrázku 18 je možné se přiblížit s využitím dalšího regulátoru plynule řídícího výkon kotle.

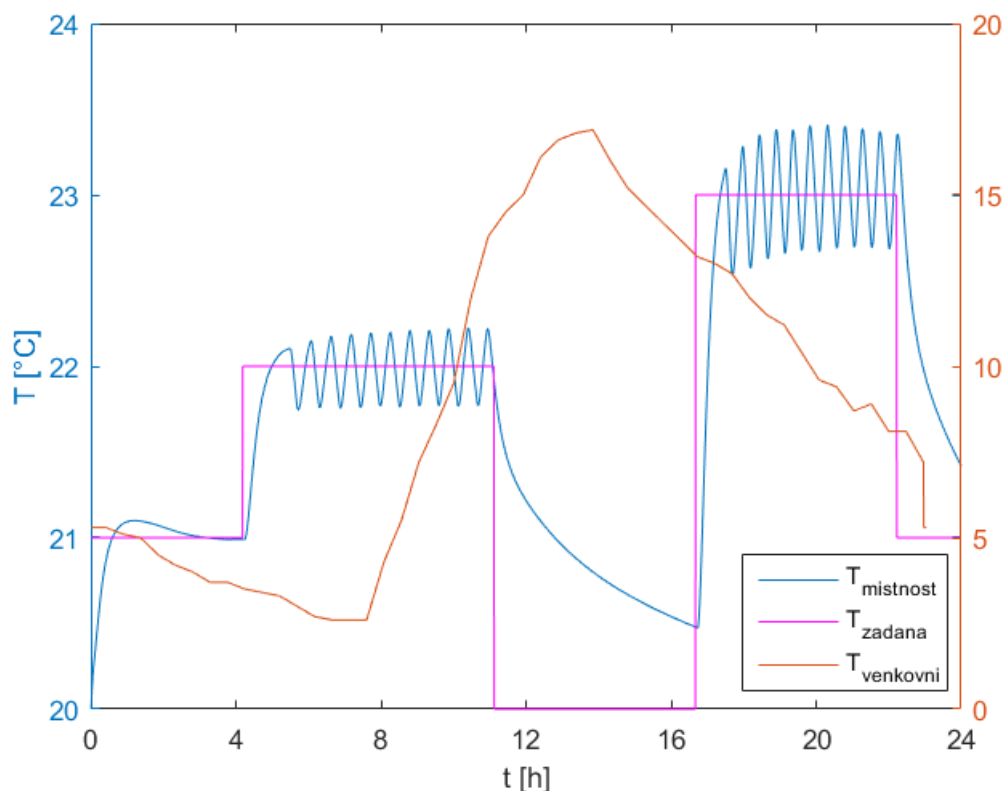
5.1.2 Dvoustavové řízení kotle s regulací radiátoru

V této simulaci se uvažuje dvoustavové řízení kotle s hysterezí a využití PI regulátorů v jednotlivých místnostech. Na obrázku 19 je vidět kmitavý průběh teploty způsobený opakovaným spínáním a vypínáním kotle. Velikost kmitů, s maximální hodnotou $0,67\text{ }^{\circ}\text{C}$, je dána hysterezí spínání kotle, tepelnou setrvačností otopného tělesa, vzduchu a nábytku v místnosti a dopravním zpožděním. Prudký pokles teploty je příčinou nízké počáteční teploty konstrukčních prvků a velmi nízké vnější teploty, která tyto prvky nadále ochlazuje. Vnější stěny s nižší teplotou, než je teplota vzduchu v místnosti, se chovají jako chladič. Velikost rozdílu mezi jejich teplotou a teplotou vzduchu uvnitř místnosti určuje rychlost snižování teploty v místnosti. Použitý PI regulátor snižuje velikost kmitů snahou vyrovnat teplotu v místnosti. Dalšího snížení kmitání teploty vzduchu v místnosti je možné dosáhnout minimalizací nebo odstraněním dopravního zpoždění v soustavě.



Obrázek 19 - Průběhy teplot dvoustavového řízení kotle s regulací radiátoru (stav 1)

Při nastavení počáteční teploty konstrukčních částí objektu na $21\text{ }^{\circ}\text{C}$, počáteční teploty vzduchu uvnitř místnosti na $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a mírně pozmeněném intervalu žádaných teplot pro lepší názornost se velikost kmitů sniží.

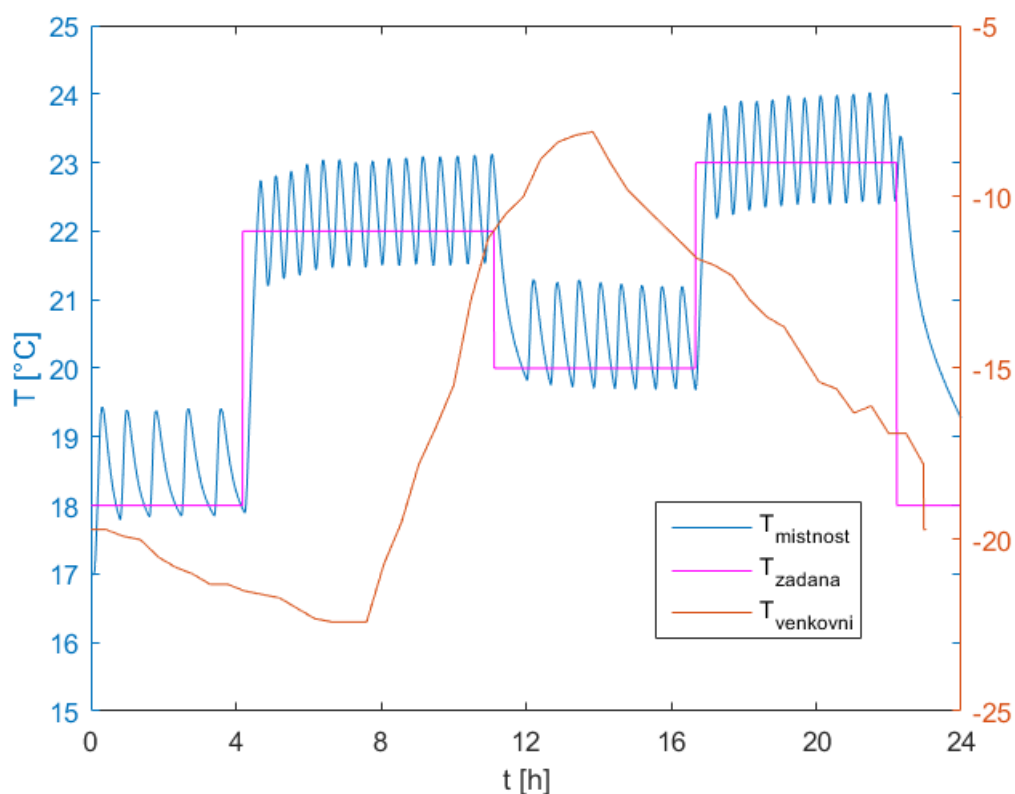


Obrázek 20 - Průběhy teplot dvoustavového řízení kotle s regulací radiátoru (stav 2)

Vzhledem k počáteční teplotě stěn o hodnotě 21 °C vzduch v místnosti v první čtvrtině dne téměř nechladne. Vnější teplota se pohybuje po celý den pod žádanou teplotou v místnosti a tím způsobuje chladnutí vnějších stěn. Protože mají vnější stěny vyšší teplotu, oproti předešlé simulaci, jejich vliv na chladnutí vzduchu v místnosti je nižší. To lze vyčíst na obrázku 20 z úseku přibližně mezi 11 a 17 h, kdy teplota nestačí poklesnout na požadovanou hodnotu oproti stejnému úseku na obrázku 19. V intervalu, kdy je požadovaná teplota 23 °C se začíná uplatňovat zvětšující se rozdíl teploty v místnosti a teploty průběžně chladnoucích stěn.

5.1.3 Dvoustavové řízení kotle bez regulace radiátoru

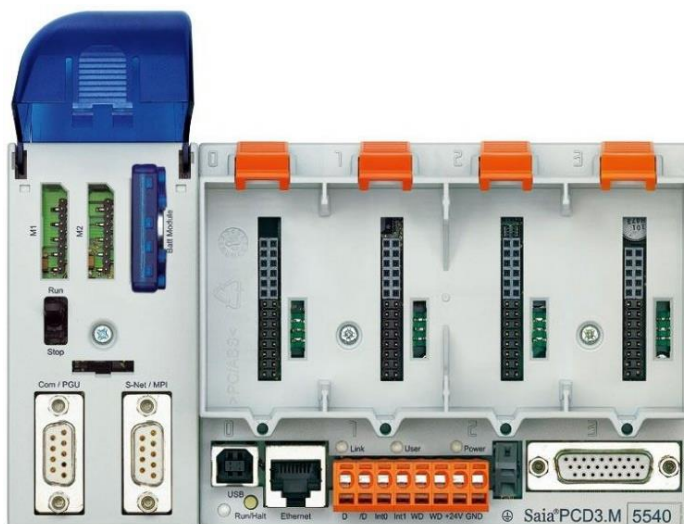
Stav dvoustavového řízení kotle bez využití regulátorů je znázorněn na obrázku 21. Oproti předešlé simulaci je patrné větší kolísání teploty v místnosti způsobené absencí regulačního prvku otopného tělesa. Maximální odchylka teploty vzduchu v místnosti oproti žádané hodnotě je 1,41 °C.



Obrázek 21 - Průběhy teplot dvoustavového řízení kotle bez regulace radiátoru

6. IMPLEMENTACE S VYUŽITÍM PLC SAIA PCD3

V práci je použita kompaktní PLC stanice s možností rozšíření pomocí místních nebo vzdálených I / O modulů a komunikačních modulů se sériovým rozhraním.

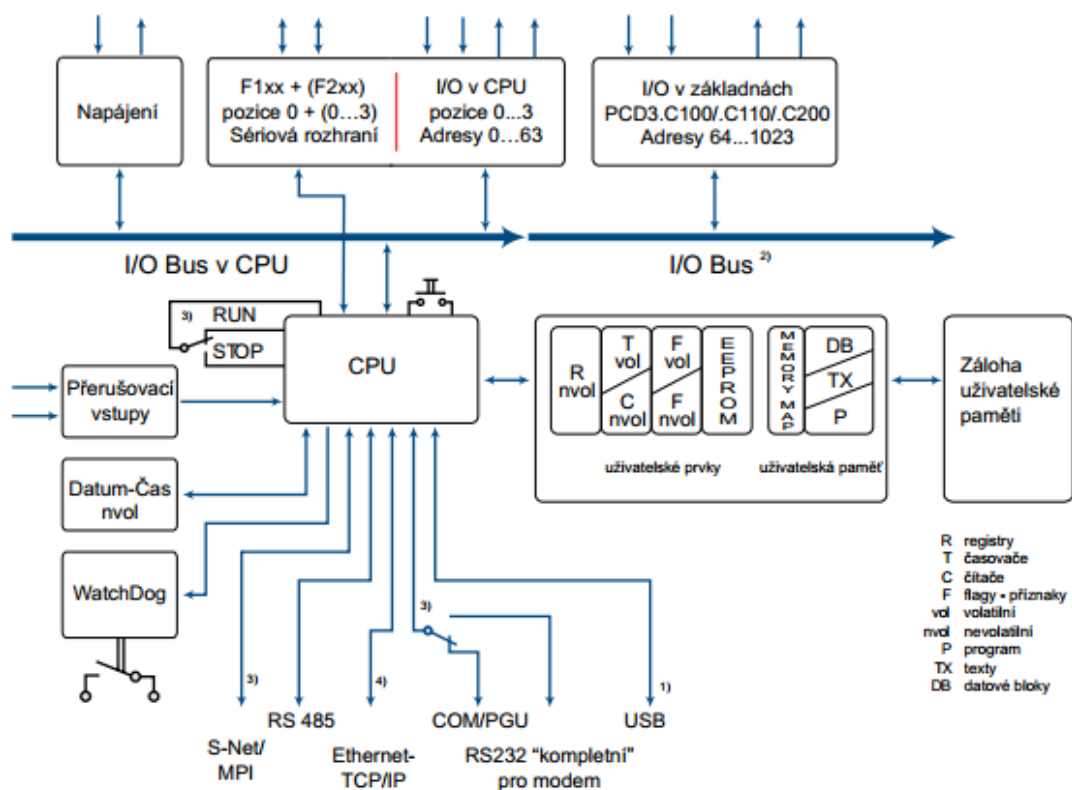


Obrázek 22 - PLC Saia PCD3.M5540

Základní parametry:

Maximální počet I/O	64
Rozšíření I/O pomocí modulů PCD3	960
Rychlost provádění instrukce	Bitová 0,9 μ s, aritmetická 0,3-1,5 μ s
Paměť	RAM 1 MB, Flash 1 MB
Maximální počet komunikačních kanálů	12
Integrované komunikační zařízení	USB (PGU), RS232, RS458, Ethernet
Integrovaný webový server	Ano
Napájecí napětí	24 VDC
Záloha uživatelských dat	Až tři roky

V základně se nachází 4 pozice pro I/O moduly. Disponuje procesorem Motorola CF 5272 / 66 MHz. Pro datové bloky, uživatelský program a texty je určena integrovaná 1 MB RAM paměť. Na integrovanou 1 MB Flash paměť je možná záloha uživatelského programu.



Obrázek 23 - Blokové schéma PCD3.M5

6.1 Terminál PCD7.D457VTCF

Terminál zobrazuje vizualizaci projektu. Lze jej použít pro rychlý přístup k ovládání programu. Většinou se zasazuje do zdí.

Technické údaje:

Barvy	65 536
Typ	TFT
Dotyková obrazovka	Odporový touchscreen
Podsvícení	LED
Ethernet 10 / 100 M	RJ45
USB 12 M	slave
Sériové	RS 232, RS 485
Operační systém	Saia® NT
Prohlížeč	Saia® Micro-Browser
Napájení	18-32 VDC
Proudový odběr	do 0,5 A
Pracovní teplota	0-50 °C

6.2 PCD3.S100



Obrázek 24 - Simulátor S100

Simulátor S100 pomáhá při odlaďování, testování a modelování programu. Lze jej připojit ke stanicím řady PCD3. Simulátor obsahuje 8 binárních vstupů, 8 binárních výstupů, 4 analogové vstupy a 2 analogové výstupy.

6.3 Vývojové prostředí PG5

Program byl tvořen pomocí vývojového prostředí Saia PG5. Tento nástroj plně poskytuje funkce potřebné pro implementaci a řízení automatizačních řešení pomocí přístrojů Saia a jejich řídicím a automatizačním příslušenstvím. Obsahuje programovací a inženýrské nástroje ve formách knihoven a připravených logických, regulačních a automatizačních modulů.

Prostředí je rozděleno do následujících komponent:

- *Project Manager* – komplexní správa,
- *Network Configurator* – integrované síťové editory,
- *Device Configurator* – konfigurace hardwarových parametrů zařízení,
- *Symbol Editor* – správa všech lokálních, globálních a síťových symbolů,
- *Libs* – standardní knihovny,
- *WebEditor* – pro funkce WebSCADA v každém automatu.

Vývojové prostředí PG5 nabízí programování v jazycích:

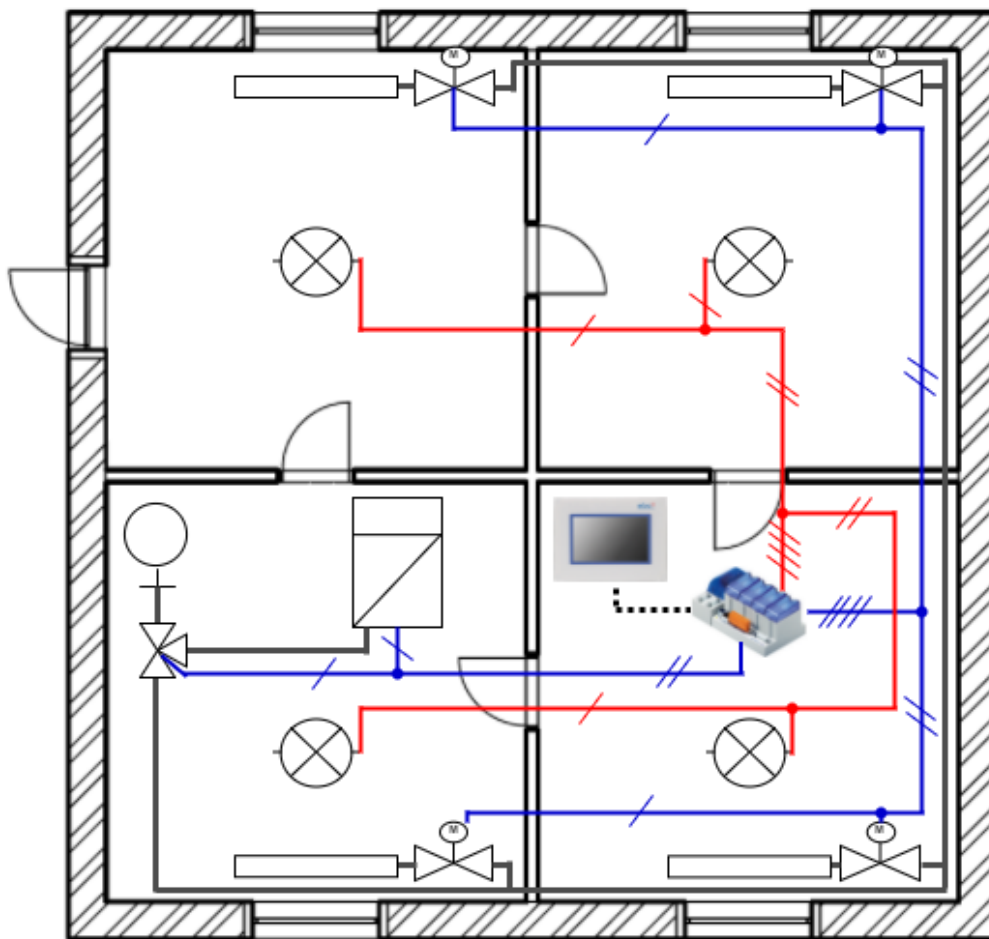
- Jazyk logických schémat,
- Jazyk reléových schémat,
- Sekvenční diagram,
- Strukturovaný text.

Reprezentaci čísel zajišťují datové typy *Binary*, *Integer* a *Floating point*. Pro programování lze využít proměnné *Flag*, *Register*, *Float*, *Constant*, *Timer*, *Counter*, *Input* a *Output*.

6.4 Program

Pro vytvoření programu byl použit jazyk logických schémat (FBD). Jádrem programu je jeden blok *COB* (cyklicky se opakující blok), u kterého lze nastavit periodu volání v násobcích 10 milisekund. V tomto bloku se volá potřebná část programu děleného do *PB* (Programových bloků). Dále lze využít funkční nebo podmíněně volané organizační bloky.

Projekt je rozdělen na čtyři části obsluhující vytápění objektu, ohřev vody do bojleru, osvětlení a režim dovolené. Uvažované technické řešení je patrné z obrázku 25. Ohřev teplé vody zajišťuje dvoustavový plynový kotel připojený k PLC stanici. Rozvod topného média je připojen na řízený trojcestný ventil určující využití topného média pro ohřev vody v bojleru nebo vytápění. V každé místnosti je umístěno osvětlení, radiátor s řízeným ventilem a teplotní čidla. Ovládání je realizováno přes dotykový panel připojený k PLC.



Obrázek 25 - Technické řešení řízeného systému

Vizualizace je tvořena pomocí WebEditoru v prostředí PG5. Vzhledem k PLC stanici obsahující WebServer se vizualizace překládá do html kódu. Pro její zobrazení je v dotykovém panelu instalován webový prohlížeč.

6.4.1 Vytápění objektu

Pro vytápění objektu jsou vytvořeny čtyři časové intervaly v průběhu každého dne v týdnu. Jsou uživatelem volitelné v rozmezí 24 hodin. Toto řešení vychází z předpokladu individuální přítomnosti osob v objektu v průběhu jednoho týdne v závislosti na jejich aktivitách. Uživatel má možnost zadat čtyři časy, od kterých chce udržovat v objektu žádanou teplotu. V každém intervalu lze zadat žádanou teplotu v rozmezí 16 – 26 °C. K zadané teplotě je připočtena hystereze s pevně stanovenou hodnotou 0,1 °C z hlediska uvažování pouze dvoustavového plynového kotle. Průběh teploty v místnosti s použitím tohoto typu kotle je na obrázcích 19 a 20. Možnou variantou k odstranění kolísání teploty v místnosti je použití kotle s plynulým řízením výkonu, kde by se průběh teploty v místnostech blížil křivkám na obrázku 18. Zadaná teplota je spolu s aktuální teplotou přivedena na vstup PID regulátoru, použitého z knihovny *Integer/Regulation*. Kromě proporcionální, integrační a derivační složky se v regulátoru nastavuje perioda vzorkování a rozlišení 8,12 nebo 16 bitů.

Při běžném provozu lze mimo standartní globální nastavení teplot upravit žádané teploty v jednotlivých místnostech zvlášť a přímo zapnout vytápění na tyto teploty. To by mělo zajistit dostatečný komfort a tepelnou pohodu osob v objektu.

6.4.2 Ohřev vody

Funkce je nadřazená běžnému vytápění. Uvažují se dva časy ve dni, kdy je nutné mít dostatek teplé vody. Tyto časy se zadávají zvlášť pro všední dny a zvlášť pro víkend. Mimo uživatelem nastavitelné časy lze zapnout ohřev vody individuálně na potřebě uživatele. Pro tuto možnost lze použít hardwarový spínač nebo tlačítko ve vizualizaci. Při přijetí požadavku na zahájení ohřevu program nejdříve zkontroluje teplotu vody v bojleru, zda se již nenachází na požadované hodnotě. Pokud tato podmínka není splněna, vypíná se vytápění, spouští se ohřev vody a přepíná se trojcestný ventil. Po nahřátí vody na požadovanou teplotu se program vrací zpět k vytápění. Teplota ohřívání vody je hlídána pro případ, kdy by mohlo dojít k tepelnému poškození soustavy. K tomu by však nemělo dojít vzhledem k omezení rozsahu hodnot při zápisu žádané teploty. Signalizace a ovládání ohřevu jsou umístěny na simulátoru S100 a ve vizualizaci.

6.4.3 Osvětlení

Řešení vnitřního osvětlení je pro všechny čtyři místnosti shodné. Pro testování je použit simulátor S100 s analogovými a binárními vstupy/výstupy připojený ke stanici. Osvětlení lze ovládat hardwarovým přepínačem nebo pomocí vizualizace, kde je možné ovládat i intenzitu osvětlení v jednotlivých místnostech.

6.4.4 Režim dovolené

Režim dovolené má nejvyšší prioritu v programu. Při dlouhodobé nepřítomnosti osob v objektu je možné udržovat teplotu v objektu na jedné zvolené hodnotě. Tato

hodnota by neměla klesnout pod rosný bod. Tento režim lze spustit přímo spínačem (hardwarovým nebo ve vizualizaci) nebo zadáním intervalu, kdy nebudou v objektu přítomny osoby. V případě aktivace tohoto režimu se vypíná klasické vytápění a ohřev vody do kotle, ke zpětnému zapnutí dochází po uplynutí stanovené doby.

7. ZÁVĚR

Práce se zaměřuje na řízení inteligentních budov především v problematice vytápění a osvětlení.

Nejdříve je věnována pozornost obecnému popisu řízení inteligentních budov, s ním souvisejícím programovatelným automatům a systémům vizualizace. V kapitole věnované vytápění jsou popsány různé způsoby regulace teploty uvnitř objektu a používané regulační prvky. Poslední dvě kapitoly teoretické části práce jsou věnovány především standartu RS-485, protokolu S-Bus a hardwaru, který je následně využit pro realizaci bakalářské práce.

S vytápěním budov souvisí jejich tepelné ztráty. Podle výpočtu tepelných ztrát budovy se určuje výkon tepelného zdroje a navrhuje celá topná soustava. V kapitole číslo 3 je uveden zjednodušený výpočet pro modelový objekt k určení potřebného topného výkonu radiátorů. Pro uvažovaný objekt je navržen tepelný model. K vytvoření tepelného objektu modelu bylo využito prostředí Matlab/Simulink s rozšířením knihoven Simscape pro modelování fyzikálních systémů. Objekt je složen z vnějších obvodových stěn, vnitřních stěn, stropu, oken, dveří a vzduchu a nábytku uvnitř objektu. Všechny tyto prvky jsou modelovány dle jejich reálných vlastností a rozměrů, zjištěných v především v katalogových listech výrobců. U modelovaných radiátorů, umístěných ve čtyřech místnostech, se uvažuje řízení jejich výkonu škrtícím členem na přívodu topného média.

Pomocí vytvořeného tepelného modelu a jeho chování je navržen PI regulátor teploty pro jednotlivé místnosti. Výsledné průběhy teplot při řízení jsou znázorněny a popsány v kapitole 5.1. Jsou zde uvedeny tři případy pro různé typy vytápění.

Projekt řízení teploty a osvětlení je realizován pomocí PLC Saia PCD3, dotykového panelu a simulátoru S100. Do programu jsou přidány funkce ohřevu vody do bojleru a režimu dovolené. Všechny funkce jsou podrobně popsány v kapitole 6.5.

Výsledkem této bakalářské práce je tedy projekt řízení vytápění a osvětlení v objektu se čtyřmi místnostmi s využitím PI regulátorů a vytvořený tepelný model podle reálných dat pro návrh regulátorů. K projektu je realizována vizualizace přístupná přes dotykový panel.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Principiální schéma řízeného systému	10
Obrázek 2 - Blokové schéma typického PA [2]	12
Obrázek 3 - Typický tvar ekvitemní křivky	17
Obrázek 4 - Symetrické vedení RS-485 [11]	22
Obrázek 5 - Zapojení ukončovacích rezistorů [11]	23
Obrázek 6 - Použití protokolu S-Bus	24
Obrázek 7 - Princip funkce Gateway	24
Obrázek 8 - S-Bus telegram	26
Obrázek 9 - Znázornění datového módu	27
Obrázek 10 - Znázornění paritního módu	27
Obrázek 11 - Znázornění přerušovacího módu	27
Obrázek 12 - Úspěšný přenos telegramu	27
Obrázek 13 - Model stěny	33
Obrázek 14 - Model otopného tělesa	34
Obrázek 15 - Model místnosti	34
Obrázek 16 - Model objektu se čtyřmi místnostmi	35
Obrázek 17 - Přejížděvací charakteristika teploty v místnosti	36
Obrázek 18 - Průběhy teplot při regulaci konstantního výkonu radiátoru	38
Obrázek 19 - Průběhy teplot dvoustavového řízení kotle s regulací radiátoru (stav 1) ..	39
Obrázek 20 - Průběhy teplot dvoustavového řízení kotle s regulací radiátoru (stav 2) ..	40
Obrázek 21 - Průběhy teplot dvoustavového řízení kotle bez regulace radiátoru	41
Obrázek 22 - PLC Saia PCD3.M5540	42
Obrázek 23 - Blokové schéma PCD3.M5	43
Obrázek 24 - Simulátor S100	44
Obrázek 25 - Technické řešení řízeného systému	45

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - OSI model protokolu S-Bus	25
Tabulka 2 - Použité stavební prvky pro výpočet	29
Tabulka 3 - Odečtené doby průtahu a náběhu	37
Tabulka 4 - Určení konstant PI regulátoru	37

LITERATURA

- [1] ZEZULKA, František, Zdeněk BRADÁČ, Petr FIELDER, Pavel KUČERA a Radek ŠTOHL. *Programovatelné automaty* [online]. Brno: VUT, 2003 [cit. 2016-12-29]. Dostupné z: http://www.vaeprosyst.cz/Dokumentace/Programovatelne_automaty/Programovatelne_automaty-Skripta_FEKT_VUT_Brno.pdf
- [2] MARTINÁSKOVÁ, Marie a Ladislav ŠMEJKAL. *Řízení programovatelnými automaty*. Praha: ČVUT, 1997.
- [3] PÁSEK, Jan. *Programovatelné automaty v řízení technologických procesů* [online]. Brno: FEKT VUT, 2007 [cit. 2016-12-29].
- [4] VALEŠ, Miroslav. *Inteligentní dům*. Brno: ERA, 2006. ISBN 80-7366-062-8.
- [5] Otopné plochy: Úvod do problematiky. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, b.r. [cit. 2016-12-29]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3052-otopne-plochy-uvod-do-problematiky>
- [6] BAŠTA, Jiří. *Otopné plochy*. Praha: ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02365-6.
- [7] BAŠTA, Jiří a Karel HEMZAL. *Regulace v technice prostředí staveb* [online]. Praha: ČVUT, 2009 [cit. 2016-12-29]. Dostupné z: https://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni../Basta_Hemzal_Regulace.pdf
- [8] *Progresivní technologie ve výstavbě* [online]. České Budějovice: Jihočeská hospodářská komora, 2012 [cit. 2016-12-29]. Dostupné z: http://www.energetickyregion.cz/download/34_35_cs_ptv_progresivni_technologie_ve_vystavbe_skriptum.pdf
- [9] ARNOLD, Vladimír, Lenka DEMJANOVÁ, Pavel JÁNSKÝ, Josef LANCOŠ a Norbert RYSKA. *Tepelná čerpadla*. 4. Tábor: Střední průmyslová škola strojní a stavební, 2013.
- [10] MERZ, Hermann, Thomas HANSEMANN a Christof HUBNER. *Automatizované systémy budov: Sdělovací systémy KNX/EIB, LON a BACnet*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2008. ISBN 978-80-247-2367-9.
- [11] Guidelines for Proper Wiring of an RS-485 (TIA/EIA-485-A) Network. *Maxim Integrated* [online]. San Jose, 2001 [cit. 2016-12-29]. Dostupné z: <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/763>
- [12] *Manual SAIA S-Bus* [online]. Edition 26/739 E4 - 04.2000. Murten: SAIA-Burgess Electronics Ltd., 2000 [cit. 2016-12-29]. Dostupné z: www.sbc-support.ch/manuals/26-740_E.pdf
- [13] ČSN 73 0540-4: *Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody*. Praha: Český normalizační institut, 2005.

- [14] MATHWORKS, . *Simscape User's Guide* [online]. R2017a. Natick: MathWorks, 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z:
https://www.mathworks.com/help/pdf_doc/physmod/simscape/index.html
- [15] GLOS, Jan. *POKROČILÉ ALGORITMY ŘÍZENÍ TEPLITY V MÍSTNOSTI*. Brno, 2013. Bakalářská práce. VUT. Vedoucí práce Pavel Václavek.
- [16] BLAHA, Petr a Petr VAVŘÍN. *Řízení a regulace I: Základy regulace lineárních systémů - spojité a diskrétní* [online]. 1.3.2. Brno: VUT, 2009 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/rizeniaregulace1/prednasky>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Půdorys modelového objektu

Příloha 2: Tabulky konstrukčních prvků (na přiloženém CD)

Příloha 3: Zdrojové kódy PLC (na přiloženém CD)

Příloha 4: Vizualizace (na přiloženém CD)

Příloha 5: Tepelný model objektu v programu Matlab/Simulink (na přiloženém CD)

Příloha 6: Elektronická verze Bakalářské práce (na přiloženém CD)

Příloha 1

Půdorys modelového objektu

